

UNIVERSIDAD COMPLUTENSE DE MADRID
FACULTAD DE CIENCIAS ECONÓMICAS Y EMPRESARIALES
DEPARTAMENTO DE ECONOMÍA APLICADA VI
(HACIENDA PÚBLICA Y SISTEMA FISCAL)



TESIS DOCTORAL

**Análisis de la eficacia y de la eficiencia del sistema concesional en los
servicios públicos de transporte: metros ligeros en la Comunidad de
Madrid**

MEMORIA PARA OPTAR AL GRADO DE DOCTORA

PRESENTADA POR

María Navarro Tejedor

DIRECTORA

Laura de Pablos Escobar

Madrid, 2017



U N I V E R S I D A D
COMPLUTENSE
M A D R I D

**ANÁLISIS DE LA EFICACIA Y DE LA EFICIENCIA DEL
SISTEMA CONCESIONAL EN LOS SERVICIOS
PÚBLICOS DE TRANSPORTE: METROS LIGEROS EN
LA COMUNIDAD DE MADRID.**

TESIS DOCTORAL

María Navarro Tejedor

Facultad de Ciencias Económicas y Empresariales

Universidad Complutense de Madrid

Madrid, 2015



U N I V E R S I D A D
COMPLUTENSE
M A D R I D

Departamento de Economía Aplicada VI

Facultad de Ciencias Económicas y Empresariales

Universidad Complutense de Madrid

**ANÁLISIS DE LA EFICACIA Y DE LA EFICIENCIA DEL
SISTEMA CONCESIONAL EN LOS SERVICIOS PÚBLICOS DE
TRANSPORTE: METROS LIGEROS EN LA COMUNIDAD DE
MADRID.**

TESIS DOCTORAL

de

María Navarro Tejedor

Directora

Laura de Pablos Escobar

Catedrática de Economía Aplicada. UCM

Madrid, 2015

AGRADECIMIENTOS Y DEDICATORIAS

Esta tesis doctoral no hubiese sido posible sin el apoyo, la ayuda y la colaboración inestimables de las siguientes personas.

En primer lugar, quiero darle las gracias a Laura de Pablos Escobar, mi directora de tesis, tanto por su experiencia, conocimientos y dedicación, como por la confianza que ha depositado en mí desde los comienzos de esta tesis doctoral. También quiero agradecer al Departamento de Economía Aplicada VI de la Universidad Complutense de Madrid, las consideraciones y valoraciones que me han aportado para esta tesis doctoral.

Gracias a mis familiares y, en especial, a mis abuelos, mis padres, a Fernando, Cristina y Raquel, por los valores que me han enseñado y el cariño que me han dado siempre en la vida y, en especial, por las palabras y gestos de apoyo y ánimo que me han dedicado en todo momento y, en particular, cuando más inspiración y fuerza he necesitado para escribir esta tesis doctoral.

Y a todos a aquellos que de una forma u otra me han prestado su ayuda, tanto a nivel personal como profesional, agradeceros vuestra confianza y apoyo.

Muchas gracias, os dedico esta tesis doctoral a todos vosotros.

ÍNDICE

RESUMEN	1
ABSTRACT.....	5
1. INTRODUCCIÓN: JUSTIFICACIÓN, OBJETIVOS Y APORTACIONES	9
2. FALLOS DE MERCADO E INTERVENCIÓN PÚBLICA EN LOS SERVICIOS DE TRANSPORTE URBANO. LOS MECANISMOS DE CONCESIÓN Y EL METRO LIGERO. EXPERIENCIA COMPARADA	29
2.1.Fallos de mercado y justificación de la intervención pública en el transporte urbano	29
2.2.Mecanismos de intervención	48
2.3.Asociaciones público privadas.....	55
2.4.Concesiones públicas	58
2.5.Europa y España en su experiencia en concesiones en el transporte urbano: El Metro Ligero.....	68
2.6.Madrid y su experiencia en concesiones en el transporte urbano: El Metro Ligero.....	84
2.7.Conclusiones.....	89
3. EL ANÁLISIS DE LA EFICACIA Y DE LA EFICIENCIA EN LAS CONCESIONES DEL TRANSPORTE PÚBLICO URBANO: EL CASO DEL METRO LIGERO (I): ANÁLISIS COSTE BENEFICIO	93
3.1.Introducción	93
3.2.Análisis Coste Beneficio (ACB) en las concesiones del transporte público urbano: Metodología.....	95
3.2.1. Enfoque metodológico del ACB desde la economía del bienestar	95
3.2.2. Enfoque metodológico del ACB tradicional o por fases	100
3.3.Revisión de la literatura.....	105
3.4.Decisiones metodológicas para la aplicación empírica de la metodología del ACB tradicional a las concesiones de transporte público urbano	117
3.5.Aplicación empírica de la metodología del ACB tradicional a las concesiones de transporte público urbano: las líneas de metro ligero en la Comunidad de Madrid.....	137
3.5.1. Introducción.....	137
3.5.2. Metro Ligero Pinar de Chamartín-Sanchinarro-Las Tablas (Línea ML1): Resultados y análisis de sensibilidad	157

3.5.3. Metro Ligero Colonia Jardín-Pozuelo de Alarcón y Boadilla del Monte (Líneas ML2 y ML3): Resultados y análisis de sensibilidad	163
3.5.4 Tranvía de Parla: Resultados y análisis de sensibilidad	168
3.6.Conclusiones	173
4. METODOLOGÍAS ALTERNATIVAS PARA EL ANÁLISIS DE LA EFICACIA Y DE LA EFICIENCIA EN LAS CONCESIONES DEL TRANSPORTE PÚBLICO URBANO: EL CASO DEL METRO LIGERO (I): ANÁLISIS MULTICRITERIO.	181
4.1.Introducción	181
4.2.Análisis Multicriterio (AMC) en las concesiones del transporte público urbano: Metodología.....	182
4.3.Revisión de la literatura	189
4.4.Decisiones metodológicas para la aplicación empírica de la metodología del AMC a las concesiones de transporte público urbano	194
4.5.Aplicación empírica de la metodología del AMC a las concesiones de transporte público urbano: las líneas de metro ligero en la Comunidad de Madrid	199
4.5.1. Metro Ligero Pinar de Chamartín -Las Tablas- Sanchinarro (ML1)	200
4.5.2. Metro Ligero Colonia Jardín-Pozuelo de Alarcón y Boadilla del Monte (Línea ML2 y ML3).....	203
4.5.3. Tranvía de Parla	207
4.6.Conclusiones	211
5. METODOLOGÍAS ALTERNATIVAS PARA EL ANÁLISIS DE LA EFICACIA Y DE LA EFICIENCIA EN LAS CONCESIONES DEL TRANSPORTE PÚBLICO URBANO: EL CASO DEL METRO LIGERO (II): SIMULACIÓN MONTECARLO.....	217
5.1.Introducción	217
5.2.Simulación Montecarlo (SM) en las concesiones del transporte público urbano: Metodología.....	218
5.3.Revisión de la literatura	223
5.4.Decisiones metodológicas para la aplicación empírica de la metodología del SM a las concesiones de transporte público urbano.....	227
5.5.Aplicación empírica de la metodología del SM a las concesiones de transporte público urbano: las líneas de metro ligero en la Comunidad de Madrid	229
5.5.1. Simulación Montecarlo: Metro Ligero Pinar de Chamartín – Sanchinarro - Las Tablas (ML1)	229
5.5.2. Simulación Montecarlo: Metro Ligero Colonia Jardín-Pozuelo de Alarcón y Boadilla del Monte (Línea ML2 y ML3).....	238

5.5.3. Simulación Montecarlo: Tranvía de Parla	248
5.6.Conclusiones	257
6. CONCLUSIONES	261
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	267

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.1 Gastos en Infraestructuras y Transportes Comunidad de Madrid.....	17
Tabla 2.1. Grados de intervención pública:.....	51
Tabla 2.2. Evolución del tranvía en Europa.....	71
Tabla 2.3. Algunas experiencias de tranvías o metros ligeros en Europa.....	74
Tabla 2.4. Tranvías y metros ligeros modernos en España.....	84
Tabla 3.1. Revisión de la literatura ACB en materia de transporte	107
Tabla 3.2. Etapas del Análisis Coste-Beneficio	118
Tabla 3.3. Criterios de Decisión	124
Tabla 3.4. Beneficios. Externalidades del Proyecto de Transporte Público Urbano....	126
Tabla 3.5. Costes asociados al Proyecto de Transporte Público Urbano.....	131
Tabla 3.6. Demanda Anual Estimada. Líneas: ML1, ML2 y ML3, Tranvía de Parla ..	139
Tabla 3.7. Ramp-up Líneas ML1, ML2 y ML3, Tranvía de Parla	140
Tabla 3.8. Externalidades	142
Tabla 3.9. Valores monetarios centrales del Impacto del Ruido por Modo de Transporte para España (pr. hedónicos). Lden.....	145
Tabla 3.10. Externalidades. Modelo Metros Ligeros (ML1, ML2 y ML3 y Tranvía de Parla)- Vehículo Privado. Modelo Inicial.	146
Tabla 3.11. Externalidades. Modelo Metros Ligeros (ML1, ML2 y ML3 y Tranvía de Parla)- Vehículo Privado. Modelo con variante.	147
Tabla 3.12. Externalidades. Modelo Metros Ligeros (ML1, ML2 y ML3 y Tranvía de Parla)- Autobús. Modelo Inicial.	148
Tabla 3.13. Externalidades. Modelo Metros Ligeros (ML1, ML2 y ML3 y Tranvía de Parla)- Autobús. Modelo con variante.	150
Tabla 3.14. Costes Construcción, Operación y Mantenimiento Metros Ligeros (ML1, ML2 y ML3 y Tranvía de Parla).....	152
Tabla 3.15. Costes Construcción, Operación y Mantenimiento. Autobús y Vehículo Privado.	154
Tabla 3.16. Factores de Conversión para Gastos de Operación y Mantenimiento e Inversiones a Precios básicos. Metro Ligero y Vehículo Privado	155
Tabla 3.17. Factores de Conversión para Gastos de Operación y Mantenimiento e Inversiones a Precios básicos. Metro Ligero y Autobús.....	156
Tabla 3.18. Tasas sociales de preferencia temporal aplicadas (TSPT).....	157
Tabla 3.19. Resultados Análisis Coste-Beneficio. Metro Ligero ML1 Las Tablas / Sanchinarro versus Vehículo Privado	160
Tabla 3.20. Resultados Análisis Coste-Beneficio. Metro Ligero ML1 Las Tablas / Sanchinarro versus Autobús.....	162
Tabla 3.21. Resultados Análisis Coste-Beneficio. Metro Ligero ML2 Y ML3 versus Vehículo Privado	166
Tabla 3.22. Resultados Análisis Coste-Beneficio. Metro Ligero ML2 Y ML3 versus Vehículo Autobús	167
Tabla 3.23. Resultados Análisis Coste-Beneficio. Tranvía de Parla versus Vehículo Privado	171

Tabla 3.24. Resultados Análisis Coste-Beneficio. Tranvía de Parla versus Autobús ..	172
Tabla 4.1. Etapas del Análisis Multicriterio.....	183
Tabla 4.2. Revisión de la literatura del Análisis Multicriterio (AMC) en materia de transporte.....	190
Tabla 4.3. Definición de criterios e indicadores.....	196
Tabla 4.4. Resultados de la ponderación de criterios	197
Tabla 4.5. Normalización de los valores medianos de los criterios por peso asignado (de menor a mayor).....	198
Tabla 4.6. Demanda Anual Año 2007	199
Tabla 4.7. Demanda Anual Año 2013	199
Tabla 4.8. Resultados Análisis Multicriterio. ML1 Vs Vehículo Privado.....	201
Tabla 4.9. Resultados Análisis Multicriterio. ML1 Vs Autobús.....	203
Tabla 4.10. Resultados Análisis Multicriterio. ML2 y ML3 versus Vehículo Privado	204
Tabla 4.11. Resultados Análisis Multicriterio. ML2 y ML3 versus Autobús.....	206
Tabla 4.12. Resultados Análisis Multicriterio. Tranvía Parla versus Vehículo Privado	208
Tabla 4.13. Resultados Análisis Multicriterio. Tranvía Parla versus Autobús	210
Tabla 5.1. Revisión de la literatura de la Simulación Montecarlo (SM) en materia de transporte.....	225
Tabla 5.2. Simulación Montecarlo. ML1 versus vehículo privado. Modelo Inicial.....	230
Tabla 5.3. Simulación Montecarlo. ML1 versus vehículo privado. Modelo con variante.	232
Tabla 5.4. Simulación Montecarlo. ML1 vs Autobús. Modelo Inicial.....	235
Tabla 5.5. Simulación Montecarlo. ML1 vs Autobús. Modelo con variante.....	237
Tabla 5.6. Simulación Montecarlo. ML2 y ML3 versus vehículo privado. Modelo Inicial.	239
Tabla 5.7. Simulación Montecarlo. ML2 y ML3 versus vehículo privado. Modelo con variante.....	241
Tabla 5.8. Simulación Montecarlo. ML2 y ML3 versus Autobús. Modelo Inicial.....	244
Tabla 5.9. Simulación Montecarlo. ML2 y ML3 versus Autobús. Modelo con variante	246
Tabla 5.10. Simulación Montecarlo. Tranvía Parla versus Vehículo Privado. Modelo Inicial.	249
Tabla 5.11. Simulación Montecarlo. Tranvía Parla versus Vehículo Privado. Modelo con variante.	251
Tabla 5.12. Simulación Montecarlo. Tranvía Parla versus Autobús. Modelo Inicial...	253
Tabla 5.13. Simulación Montecarlo. Tranvía Parla versus Autobús. Modelo con variante.....	255

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 2.1. Monopolio Natural.....	33
Ilustración 2.2. Representación Gráfica de la Congestión de Tránsito.....	40
Ilustración 2.3. Efecto de la Contaminación	44
Ilustración 2.4. Equilibrio Financiero de un Concesionario.....	66
Ilustración 3.1.Excedente del consumidor	96
Ilustración3.2.Excedente del consumidor, variación compensada y variación equivalente	98
Ilustración 3.3.Demanda total de transporte.....	120
Ilustración 3.4.Demanda modal 1	121
Ilustración 3.5.Demanda modal 2	122
Ilustración 4.1.Utilidad total líneas metro ligero de la Comunidad de Madrid.....	215

ÍNDICE DE ABREVIATURAS

ACB	Análisis Coste Beneficio
AMC	Análisis Multicriterio
APP	Asociaciones Público Privadas
ATM	Autoritat del Transport Metropolità
BOT	Build Operate Transfer
CEDEX	Centro de Estudios y Experimentación de Obras Públicas
CGV	Costes Generalizados de Viaje
CH₄	Metano
CRTM	Consortio Regional de Transportes de Madrid
CO	Monóxido de Carbono
CO₂	Dióxido de Carbono
DB(A)	Decibelios Ponderados
DCA	Disminución de la contaminación atmosférica
EC	Excedente del Consumidor
EDM	Encuesta Domiciliaria de Movilidad
EMT	Empresa Municipal de Transportes
HC	Hidrocarburos
I.D	Incremento de la Demanda
INE	Instituto Nacional de Estadística
Km	Kilómetros
Lden	Level day evening night.
MINTRA	Madrid Infraestructuras del Transporte
NO_x	Óxido Nitroso
OCDE	Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos
O₂	Ozono

PCAP	Pliego de Cláusulas Administrativas Particulares
PEIT	Plan Estratégico de Infraestructuras de Transporte
PPP	Public private partnership (equivalente a APP)
SEC	Sistema Europeo de Cuentas
SIO	Método Semiinput-Output
SM	Simulación Montecarlo
SOx	Óxidos de Azufre
TAV	Tren de Alta Velocidad
TERM	Transport and Environment Reporting Mechanism
TSPT	Tasa Social de Preferencia Temporal
VC	Variación Compensada
VE	Variación Equivalente

RESUMEN

La presente tesis doctoral lleva por título análisis de la eficacia y de la eficiencia del sistema concesional en los servicios públicos de transporte: metros ligeros en la Comunidad de Madrid.

En el marco del transporte público urbano, los criterios de eficacia y eficiencia deben conjugarse con la satisfacción del bienestar social, de manera que, ante la existencia de fallos de mercado, la intervención pública debe servir como instrumento para su corrección. En un contexto de crisis económica como el acontecido desde 2008, la racionalización del gasto público se ha convertido en un objetivo prioritario por parte de las Administraciones Públicas. Es por ello por lo que, el fin de esta tesis doctoral resulta muy oportuno en los tiempos actuales, dado que su propósito va a ser analizar la eficacia y la eficiencia de un tipo de proyectos que por sus características ha sido objeto de especial debate dado su elevado coste: el metro ligero. En concreto, esta tesis doctoral tiene como objetivo el análisis en términos de eficacia y de eficiencia de las líneas de metro ligero de la Comunidad de Madrid, construidas y puestas en funcionamiento mediante un sistema de concesión.

Para ello, se han empleado tres metodologías distintas de evaluación en las que se han incluido características económicas, sociales y medioambientales, a saber: el análisis coste-beneficio (ACB), como eje principal del estudio y de forma complementaria, el análisis multicriterio (AMC) y el método de simulación Montecarlo (SM), aportando una visión alternativa y contrastado los resultados obtenidos con el análisis coste-beneficio, siendo así más robustos y consistentes. La utilización conjunta de estas metodologías ha permitido una evaluación socio-económica minuciosa y profunda de las citadas líneas de metro ligero. En cada evaluación se realiza un análisis comparando, por un lado, el metro ligero con una alternativa de transporte público: el autobús y por otro lado, el metro ligero frente al uso del vehículo privado.

Adicionalmente, la construcción de un modelo inicial con demanda estimada y un modelo con variante que aplica el efecto de la demanda real disponible, permitirá

ofrecer unas conclusiones precisas para emitir una serie de recomendaciones que pretenden enriquecer los estudios de viabilidad y cualquier otra clase de documentos de trabajo que se realizan en este tipo de proyectos y abrir nuevas líneas de análisis e investigación tanto en el sector del transporte e infraestructuras, como en cualquier otro, en el que se requiera de una evaluación detallada para llevar a cabo un determinado proyecto.

De los resultados obtenidos se puede concluir que, en el análisis coste beneficio realizado, a pesar de las externalidades positivas que generan las líneas de metro ligero analizadas, con carácter general, no parecen compensar los elevados costes que suponen su construcción y mantenimiento. Esta circunstancia se corrobora con la simulación Montecarlo. Asimismo, de la aplicación de ambas metodologías, se deduce que el metro ligero obtiene resultados menos satisfactorios al compararlo con el autobús que con respecto al vehículo privado. En cuanto al análisis multicriterio, las líneas de metro ligero estudiadas reportan utilidad desde una perspectiva global social y medio ambiental, respecto a las otras dos alternativas con las que se comparaba, el autobús y el vehículo privado.

A pesar de tratarse de un sistema concesional en el que el riesgo y ventura recae sobre el concesionario, un proyecto que no es viable no está exento de riesgos para la Administración Pública. El abandono de la concesión por el concesionario ante la inviabilidad del proyecto, sin perjuicio del sistema de penalizaciones, en su caso, acordado a tales efectos, hace que el riesgo y el coste revierta al sector público antes de que se cumpla el vencimiento de la concesión, con lo que en última instancia el mantenimiento, e incluso, la construcción, deberían ser sufragados con recursos públicos y, por tanto, los altos costes de estas inversiones serían abonados por los ciudadanos. Asimismo, con independencia de la viabilidad de un proyecto bajo concesión, el sistema concesional también se nutre de fondos públicos, en términos de tarifas técnicas aplicadas a la demanda real, subvenciones u otro tipo de aportaciones en metálico del sector público al concesionario así acordadas en el correspondiente contrato.

Con ello no se pretende manifestar que el sistema concesional sea una herramienta poco idónea para construir una obra pública, sino todo lo contrario, es decir, con esta tesis doctoral, se trata de orientar sobre la utilización del instrumento de la concesión pública de una forma responsable y beneficiosa para la sociedad, ya que, en otros casos, el sistema concesional puede servir para llevar a cabo una inversión que de otra forma el sector público no podría llevar a cabo por otros medios.

En definitiva, la conclusión final que se puede extraer observando los resultados en su conjunto es que, en concreto, las líneas de metro ligero examinadas en esta tesis doctoral son proyectos que por sus características concretas tienen un elevado coste de oportunidad respecto a los recursos que se necesitan para acometerlos y que, en principio, pueden existir alternativas de transporte en las zonas por las que aquellas discurren más convenientes para la sociedad.

ABSTRACT

This PhD thesis is titled analysis of the effectiveness and efficiency of the concession system in public transport services: light rail in the Community of Madrid.

Under the urban public transport, the criteria of effectiveness and efficiency must be combined with social welfare satisfaction, so that, given the existence of market failure, government intervention should serve as an instrument for correction. In a context of economic crisis since 2008, rationalization of public spending has become a priority by public authorities. The matter of this doctoral dissertation is very timely in the current times, because its purpose is to analyze the effectiveness and efficiency of a type of project very controversial for its high cost, the light rail. In particular, this PhD thesis aims to analyze in terms of effectiveness and efficiency the light rail lines in the Community of Madrid, developed by a concession system.

For this purpose, it has been used three different methods of evaluation which have included economic, social and environments characteristics, namely: the cost-benefit analysis (CBA), the main methodology used, the multi-criteria analysis (AMC) and Monte Carlo simulation method (MCS), in order to contrast the results of the cost-benefit analysis, to obtain more robust and consistent conclusions. The jointly use of these methodologies has allowed a thorough and deep socio-economic evaluation of said light rail lines. In each evaluation, it is carried a comparative analysis, on one hand, the light rail versus an alternative public transport mode –bus-, and on the other hand, the light rail versus the private vehicle.

In addition, it has been developed two models for each alternative: one using the initial demand forecast – initial model-, and the other one, using real known demand data – model variant-. Both models allow obtaining more accurate results and solids recommendations for future studies, both transport and infrastructure sectors like any other that requires this kind of analysis.

From the results achieved it can be concluded that the cost benefit analysis carried out, despite the positive externalities generated by light rail lines analyzed, in general, do not appear to offset the high costs involved in its construction and maintenance. This fact is corroborated by the Monte Carlo simulation. Furthermore, the application of both methodologies shows that the light rail gets lower positive results compared to the bus. As for the multi-criteria analysis, the light rail lines surveyed reported profit from global social and environmental perspective.

Despite being the light rail lines studied concession systems in which the risk and venture belong to the concessionaire, a project that is not viable is not without risk for the government. The abandonment of the concession by the concessionaire due to the unfeasibility of a project, without prejudice to the system of penalties, if any, may cause that the project be reverted to the government before the end of the concession period, and consequently the maintenance and construction costs should be sustained by the government, and ultimately paid by the citizens. Furthermore, a project under concession also require public funds, in terms of technical rates applied to real demand, subsidies or other public cash contributions agreed to in a concession contract.

This does not mean that the concession system is not adequate to build a public work, but the conclusions of this doctoral dissertation are that the use of concession systems has to be carefully planned and executed in favor of the society. In fact, the concession system may be useful to carry out an investment that otherwise the public sector could not perform by other means.

To sum up, the final conclusion of this doctoral dissertation, looking at the results as a whole, is that the light rail lines examined in this PhD thesis are projects with a high opportunity cost and that requires an important amount of public resources, so it should be examined other alternatives of public transport, in those areas through which the light rail lines studied pass, that could be more suitable for the society.

1. INTRODUCCIÓN: JUSTIFICACIÓN, OBJETIVOS Y APORTACIONES

En la sociedad actual la gente viaja cada vez más lejos y más a menudo, y los desplazamientos son cada vez más arduos y diversificados. Los individuos exigen disponer de una oferta de servicios de transporte extensa, flexible y de calidad. Para hacer frente a este reto, el transporte público debe proporcionar una variedad de servicios suficientemente eficaces para competir con el vehículo privado. Se trata de ofrecer un abanico amplio de servicios de movilidad que satisfaga, al máximo posible, las necesidades individuales de cada usuario. Como la movilidad está siendo cada día más compleja y las empresas implicadas son numerosas, es el conjunto del sistema el que debe funcionar perfectamente y no solamente cada una de las partes que lo componen, lo que es una tarea difícil de conseguir (CRTM, 2003).

En este contexto el transporte público es esencial, puesto que la demanda de transporte urbano es un componente en constante crecimiento, acelerado por el desarrollo de las ciudades a través de las últimas décadas (Corbacho, 2015).

Enfrentarse al problema de la gestión de la movilidad urbana y metropolitana es todo un reto para los países de Unión Europea. La alta densidad de habitantes en la mayoría de los países miembros de la UE hace que el transporte público sea la mejor respuesta a las necesidades de movilidad en sus áreas metropolitanas. Las actuales redes de transporte de las grandes ciudades suelen ser bastante complicadas, lo que requiere una fuerte integración de los distintos modos de transporte siendo necesario que coexistan diferentes empresas operando en la red pública de una misma área, por lo que no sólo es necesaria la integración de los modos de transporte sino también de los operadores del servicio. Esta circunstancia ha dado lugar a la creación de nuevas figuras administrativas encargadas de organizar y gestionar este transporte para coordinar e integrar los distintos tipos de administraciones (Delgado y Rivero, 2011).

En las grandes áreas metropolitanas, la red de transporte público debería ofrecer conexiones rápidas y directas entre todos los puntos posibles, pero en la práctica, trabaja concentrando pasajeros en determinados corredores, lo que hace que algunos viajes queden sin conexión directa. De esta situación surge la necesidad de realizar viajes multimodales en 2 o más modos de transporte público, combinando las redes de los distintos modos de transporte. (Jordá Lope, 2004).

En el ámbito europeo, sin el transporte público local, los sistemas de tráfico se colapsarían en las ciudades, se reduciría la movilidad y empeoraría la calidad del medio ambiente. Esto se debe a que el transporte público local resulta vital para el flujo completo de la circulación, ya que puede transportar con eficiencia a un gran número de personas (RACE, 2010).

Los gobiernos locales, más que implementar una política de transporte, lo que hacen es instrumentar a través de ésta, parte de su política social. Claramente, los gobiernos locales integran su actuación en el ámbito del transporte público urbano dentro de su contribución al Estado de Bienestar (FEMP, 2009).

Adicionalmente, los efectos de la infraestructura de transporte sobre la economía no se limitan a los impactos sobre la competitividad externa. Un país mal conectado, con costes de transporte elevados entre los centros de actividad, tiende a generar una distribución espacial de la producción autárquica con estructuras sustitutas más que complementarias entre regiones. Esta configuración del aparato productivo limita la especialización y, en consecuencia, la captura de economías de escala y alcance (Roda et. al, 2015).

Desde una perspectiva más social, el transporte público de una ciudad habla mucho del nivel de calidad de vida que cada urbe ofrece a sus vecinos y visitantes. Y también dice bastante del compromiso que asumen las autoridades municipales con la mejora de la habitabilidad de su ciudad. Tampoco debe olvidarse que el transporte de titularidad

pública refleja asimismo características demográficas, orográficas y sociales de cada lugar (Consumer, 2003).

A lo largo de 140 años de historia aproximadamente, por la región de Madrid han circulado cientos de vehículos pertenecientes a distintas redes de transporte público. Algunos sistemas, como el metro, a pesar de sus casi 100 años de vida son ahora más pujantes que nunca. En cambio, otros desaparecieron después de una existencia efímera, como ocurrió con los trolebuses. Otras redes han regresado felizmente a nuestra Comunidad, como el caso del tranvía, recuperado con la denominación de Metro Ligero. (CRTM¹, 2011).

Conseguir que los ciudadanos dispongan de un sistema de transporte público eficiente y eficaz es uno de los retos políticos del siglo XXI en nuestra región. En este contexto, el sistema de transporte tiene que desarrollar sus estructuras sobre un territorio fragmentado institucionalmente, de manera que los ámbitos territoriales de las redes de transporte y de las instituciones político-administrativas que ejercen el poder no siempre coinciden. El tema se centra en crear una oferta única y coordinada de transporte colectivo para el conjunto del ámbito metropolitano en las grandes ciudades puesto, que de forma espontánea, no se regula. Entre los usuarios finales y las empresas operadoras que suministran el servicio se encuentran las autoridades: Centrales, Regionales y Locales. Éstas regulan la organización del transporte, con la creación de organismos propios que asumen responsabilidades en esta materia.

Asociados a los problemas de movilidad actualmente preocupan cuatro cuestiones importantes: la congestión, el derroche energético, la contaminación -local y global (CO₂)- y la siniestralidad (VVAA, 2009). En ese sentido, la preocupación por los efectos medioambientales del transporte urbano constituye un punto de gran relevancia dentro de los planes de avance que existen a nivel internacional en relación con la protección del medioambiente. Se presta mayor atención al esfuerzo por lograr un sistema de transporte eficiente, que proporcione una movilidad sostenible, que sea

¹ CRTM: Consorcio Regional de Transportes de Madrid.

compatible con la equidad social y el mantenimiento de la calidad ambiental (Carpintero, 2007).

Por lo que se refiere al transporte público en la Comunidad de Madrid, está muy condicionado por las características de gran metrópoli que tiene este territorio con carácter general, lo que hace más compleja la movilidad. Adicionalmente, la Comunidad de Madrid cuenta con un ingente volumen de población, -de acuerdo con las previsiones para 2014 casi seis millones y medio de personas²-. La mayor cantidad de población dificulta la movilidad en las ciudades y el tamaño de éstas ha dado lugar a calcular las distancias, además de en kilómetros, en términos de tiempo de desplazamiento de un sitio a otro. De esta forma, el uso del vehículo privado se ha convertido para muchos en un elemento fundamental de su vida diaria. Todo ello, ha derivado en un aumento de la congestión y de la contaminación. A pesar de esto, la política de transporte público en la Comunidad de Madrid se ha considerado tradicionalmente un éxito. En gran parte, éste se debe a la existencia del Consorcio Regional de Transportes. (Vasallo y Pérez de Villar, 2008). Según estos autores: *“El fomento del transporte público es positivo desde el punto de vista medioambiental...”*. En consecuencia, la importancia del sistema de transporte público es incuestionable a causa de las implicaciones y efectos sociales que ocurren según cómo éste funciona. De hecho, este mercado afecta el desarrollo de una ciudad, la calidad de vida de los ciudadanos y también sus oportunidades económicas (Strenio, 2006).

La movilidad en la región está fuertemente influenciada por la distribución de la población y el empleo en el territorio, a causa de los desequilibrios existentes entre la población residente y el empleo localizado, generándose una gran dependencia del centro y, por consiguiente, una predominante configuración radio concéntrica de los viajes. Se comprueba que la Almendra Central genera una fuerte dependencia de la región con respecto al centro para la movilidad de la región por motivos de trabajo. Lógicamente, estos desequilibrios originan un incremento en la movilidad obligada que no es deseable y que incide negativamente tanto sobre la contaminación del medio

² Fuente: Instituto Nacional de Estadística.

ambiente como sobre el consumo de energía en la región. Sin embargo, también existen importantes factores positivos, afirmándose que si Madrid se distingue de otras ciudades es en la utilización del transporte público en relación con el uso del vehículo privado. Los resultados conseguidos en Madrid deben calificarse de excelentes y sin duda se deben a los enormes esfuerzos realizados de forma continuada a favor de la promoción del transporte público en la región. Lo que podría considerarse como un déficit, que se corresponde con la movilidad dentro de la Corona Metropolitana, no debe entenderse de una forma negativa, ya que en estos ámbitos de población mucho más dispersa, no se dan las condiciones mínimas para una gran eficiencia de los modos públicos de transporte y, en sentido contrario, puede afirmarse que se trata del dominio de mayor eficiencia del vehículo privado. En ese sentido, considerando los viajes realizados en medios mecanizados, destaca la situación del reparto modal para los viajes interiores a la Almendra Central para los que se registra una participación del transporte público del 74,1%. Realmente, todas las relaciones con el centro (la Almendra) son muy favorables para el transporte público (71,4% con la periferia de Madrid, 59,6% con la Corona Metropolitana y 58,5% con la Corona Regional)³. Puede afirmarse que la única gran relación de movilidad en la que predomina claramente el vehículo privado en la Comunidad de Madrid es la de los viajes internos a la Corona Metropolitana en que el transporte público solamente consigue un 27,2% de cuota en el reparto modal. En las relaciones internas a la Periferia Urbana de Madrid, que también representan una magnitud importante dentro de la movilidad total de la región, el transporte público consigue un 48,7% de los viajes realizados en medios mecanizados⁴. Por viajero transportado: los automóviles privados contaminan la atmósfera alrededor de 20 veces más de lo que lo hace el transporte público y, lógicamente, muchísimas veces más que la marcha a pie; los automóviles privados tienen un consumo energético global que es aproximadamente 3,6 veces el de los autobuses y 12,4 veces el del metro. En conjunto, el consumo del automóvil es unas 7,2 veces el del transporte público. Por viajero

³ Datos obtenidos del CRTM y del estudio de Cascales Moreno, J.A “Sostenibilidad del transporte en las grandes urbes y su incidencia ambiental: el caso de Madrid”. Colegio de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos, 2012.

⁴ Datos obtenidos del estudio de Cascales Moreno, J.A “Sostenibilidad del transporte en las grandes urbes y su incidencia ambiental: el caso de Madrid”. Colegio de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos, 2012

transportado, los automóviles privados ocupan al circular unas 20 veces el espacio viario que ocupa el transporte público de superficie y mayores niveles cuando están estacionados junto al bordillo (Cascales, 2012).

En las últimas dos décadas, la Comunidad de Madrid ha experimentado un intenso proceso de inversiones en infraestructuras de transporte, paralelo al experimentado por el conjunto de España, que ha servido para dotarla de un sistema de comunicaciones que la han convertido en el principal núcleo logístico nacional y uno de los más importantes del sur de Europa. (Pablo-Martí, 2011).

En ese sentido, la Comunidad de Madrid dispone de una gran variedad de ofertas de transportes. Además de los transportes públicos interurbanos, como son la red de autobuses, la red de metro o el metro ligero, dispone de estaciones de trenes y autobuses de largo recorrido. En el marco de su ámbito territorial, se han realizado importantes esfuerzos de inversión en infraestructuras de transporte en los últimos años. El notable aumento experimentado por la población y la renta per cápita de esta región ha acrecentado la movilidad y la necesidad de afrontar la construcción de nuevas infraestructuras, no sólo en la propia capital, sino también en los municipios colindantes. (Gallego et al., 2009). De hecho, la dotación y calidad de las infraestructuras viarias es un elemento clave de la competitividad y desarrollo económico y social de una ciudad.

La red de transporte de la Comunidad de Madrid es una de las más completas del mundo. El metro y el autobús urbano son las redes más utilizadas por los madrileños debido a la extensión de sus líneas, la calidad de sus instalaciones y vehículos y a la gran oferta de servicios. En el año 2011 se ha detenido la tendencia descendente de la demanda que se inició en el año 2008, alcanzando una cifra de 1.495,7 millones de viajeros, lo que representa un ligero aumento de 0,87% respecto del año anterior, aumento que se da en todos los modos de transporte. La movilidad anual en transporte público supone un promedio de 230,5 viajes por habitante y año (CRTM, 2011).

En el año 2012, último año del que se disponían de datos en la fecha de finalización de esta tesis doctoral, en la Comunidad de Madrid, se ha obtenido una demanda global de 1.429 millones de viajes, lo que ha supuesto un descenso del 4,46% respecto del año anterior. Todos los modos de transporte presentan este comportamiento general de descenso, variando entre el 0,95% de Renfe-Cercanías hasta el 9,40% de los metros ligeros. La movilidad anual en transporte público supone un promedio de 220,2 viajes por habitante, indicador que también ha descendido, aunque sigue manteniendo a la Comunidad de Madrid como referente en utilización del transporte público en el conjunto del país (CRTM, 2012).

De acuerdo con el estudio de Pablo-Martí (2011), el efecto de todo ello para Madrid ha sido en general muy positivo, y se ha debido tanto a las inversiones realizadas específicamente en su territorio como a las derivadas del aprovechamiento de su situación geográfica y del diseño de la red de comunicaciones. La capacidad de las infraestructuras para generar aspectos positivos sobre un territorio no sólo depende de las inversiones que específicamente se realizan en él sino también de las inversiones realizadas en el resto de los territorios, así como de la adecuada gestión e interoperabilidad.

En los últimos años se ha producido una mejora sustancial de la dotación de infraestructuras de transporte en la Comunidad de Madrid. Con respecto al ferrocarril se ha ampliado la red de metro y de cercanías, lo que ha supuesto una sensible mejora de la vertebración del territorio.

Paralelamente a ello, el enorme crecimiento de la red de alta velocidad ha colocado a Madrid como una de las ciudades mejor comunicadas del mundo mediante este modo de transporte. La construcción de la Terminal 4 ha permitido consolidar a Barajas como principal *hub* del sistema aeroportuario nacional y cuarto a nivel europeo.

Por otra parte, la política seguida de creación de nuevos aeropuertos de dudosa rentabilidad ha favorecido la posición competitiva de Madrid y ha erosionado la de los

otros aeropuertos importantes. Los nuevos aeropuertos han ampliado las conexiones de Barajas mejorando así su papel de centro del sistema y conexión internacional, a la vez que ha evitado que los aeropuertos de las otras grandes ciudades alcancen la masa crítica necesaria en términos de número de pasajeros para convertirse en una competencia efectiva, con la única excepción parcial del aeropuerto de Barcelona.

La dotación de vías de alta capacidad ha experimentado en los últimos años un desarrollo importante, tanto a nivel nacional como de la Comunidad de Madrid con el resultado de una mejora significativa de la accesibilidad por carretera de Madrid con el resto del territorio nacional.

En el plano regional, las nuevas autopistas de circunvalación y las radiales de peaje han servido para mejorar la movilidad entre las principales ciudades con la capital, aunque en el caso de las radiales los resultados han estado claramente por debajo de las expectativas.

Sin embargo, la profundización de la crisis económica y la consiguiente necesidad de ajustar los presupuestos de las Administraciones Públicas han supuesto un recorte importante de las inversiones en infraestructura y transportes y, en la Comunidad de Madrid, los presupuestos regionales no son menos restrictivos.

A continuación, se muestra la evolución del gasto en infraestructura básica y transportes total y per cápita en la Comunidad de Madrid desde el año 2007, año de puesta en funcionamiento de los metros ligeros objeto de estudio de esta tesis doctoral, así como también la participación de tales gastos en el PIB regional:

Tabla 1.1 Gastos en Infraestructuras y Transportes Comunidad de Madrid⁵			
Año	Gastos en Infraestructuras básica y transportes Comunidad de Madrid (millones de euros)	Gastos en Infraestructuras básica y transportes por habitante Comunidad de Madrid (euros)	Gastos en Infraestructura básica y transportes/PIB Comunidad de Madrid (%)
2007	1.781	293	0,93
2008	1.786	285	0,92
2009	2.037	319	1,08
2010	1.777	275	0,94
2011	1.662	256	0,87
2012	1.680	259	0,88
2013	1.336	206	0,71
2014	1.225	190	0,62
2015	1.353	N.D ⁶	N.D

Fuente: Elaboración propia.

A la vista de la tabla anterior, se puede concluir que se ha dado un descenso progresivo, salvo en los primeros años analizados hasta 2009, del gasto en infraestructuras básicas y transportes en la Comunidad de Madrid.

Adicionalmente, la actual crisis económica así como las drásticas medidas encaminadas a reducir el déficit público han ido produciendo un gran impacto sobre la financiación de las infraestructuras públicas. El caso de las autopistas de pago es quizás uno de los ejemplos más evidentes: las sociedades concesionarias han visto fuertemente mermados sus ingresos a consecuencia de la drástica reducción del tráfico real (alrededor del 40%) en relación con el previsto en las respectivas ofertas (Lazo, 2012).

En cualquier tiempo, pero más aún en momentos de crisis económica, surge la necesidad de analizar y reconsiderar el modelo de selección de las actuaciones públicas en materia, fundamentalmente, de creación de infraestructuras. El Consejo de Obras Públicas del Ministerio de Fomento es partidario del análisis previo

⁵ Cálculo de los resultados a partir de Leyes de Presupuestos de la Comunidad de Madrid (Presupuestos para 2007 a 2015), datos de Padrón Continuo, 2014, Instituto Nacional de Estadística y datos de Contabilidad Regional de la Comunidad de Madrid.

⁶ N.D: no hay datos disponibles, ya que a fecha de terminación de esta tesis doctoral no se había publicado el dato de población ni de PIB anual de la Comunidad de Madrid para el año 2015.

de la rentabilidad económica y social de los proyectos de inversión, de manera que los órganos de decisión cuenten con información suficiente antes de materializar su selección y priorización. La metodología para la evaluación de las inversiones públicas debería contar con una sistemática homogénea aplicable a cualquier clase de infraestructura y las hipótesis macroeconómicas a tener en cuenta (inflación prevista, tipos de interés, etc.) deberían ser determinadas por la Administración para su aplicación común. Sobre esta base ha de precisarse que el objetivo del sistema de evaluación de inversiones no puede ser el de condicionar la decisión política, sino favorecer el acierto en su configuración, permitiendo que la priorización del proceso de selección conduzca (por motivos de otra índole como la cohesión territorial y la corrección de desequilibrios) a clasificaciones que no atiendan únicamente a criterios de rentabilidad pero sí a que estos últimos faciliten el que no se adopten decisiones que lleven a la ejecución de infraestructuras económicamente ruinosas e insostenibles (Ministerio de Fomento, 2012).

Centrándonos en el metro ligero, se trata de una evolución del tranvía tradicional hacia un nuevo modo de transporte público de calidad de servicio respetuoso con el medio ambiente, convirtiéndose así en un sistema muy atractivo para desplazarse. En su concepción actual, el metro ligero surge a finales de los años sesenta en Alemania, cuando ciudades de tamaño medio, como Frankfurt o Hannover, comprendieron que el sistema tradicional de tranvías había llegado al límite y que la solución no era eliminarlo, sino protegerlo y potenciarlo, dándole el espacio que necesitaba, de forma que se le reservó cada vez más infraestructura, separándolo del tráfico. Durante los setenta continúa esta transformación en ciudades con una red importante de tranvías, pero es en los años ochenta, cuando ciudades que habían perdido completamente el tranvía, deciden implantar una primera y nueva línea de metro ligero, caso de Nantes y Grenoble en Francia, Calgary y Edmonton en Canadá o San Diego en los Estados Unidos de Norteamérica. En los años noventa se pone en servicio un número elevado de redes que impulsan definitivamente al sistema, caso de Manchester y París (1992), Karlsruhe (1993), Rouen, Valencia (1994, pionero en España), o Estrasburgo (1994), con una explosión completa en la última década. (CRTM, 2010).

La concepción del metro ligero en este renacer se apoya en la infraestructura por medio de una plataforma reservada en superficie, de ahí la expresión de ligero, una infraestructura ligera. Esta plataforma reservada lo separa del vehículo privado, pero permite cruces a nivel con peatones y el resto del tráfico, que supone una inserción urbana de este tipo de transporte público. A ello se añade la existencia de nuevos vehículos con un elevado componente de diseño y prestaciones, con piso bajo integral, y una explotación con aplicación de nuevas tecnologías, dándole prioridad en los cruces semafóricos, información en tiempo real, etc. Además, la mayoría de los nuevos proyectos de metro ligero se acompañan de una renovación en las inmediaciones del trazado de la línea, que refuerza la potencialidad del metro ligero en superficie como elemento de transformación urbana (CRTM, 2010).

La reserva y jerarquía de la plataforma de metro ligero debe cubrir todo el trazado con objeto de aumentar su velocidad comercial, así como su regularidad, al tiempo que, conscientemente, se ocupa una parte del viario existente, reduciendo así la capacidad para la circulación de vehículos privados, pero aumentando la capacidad de transporte colectivo y, por tanto, la movilidad. De esta forma, las nuevas líneas de metro ligero surgen, no sólo como una nueva infraestructura para la ciudad, sino como un elemento clave de una política de movilidad sostenible, donde se potencian los modos amigables (transporte público, bicicleta y andar), limitando el acceso en coche al centro de la ciudad, o incluso, restringiendo totalmente la circulación de vehículos privados.

En cuanto a la Comunidad de Madrid, la red de metro ligero se compone de 4 líneas que entraron en servicio en 2007 bajo el Plan de Ampliación 2003-2007. En concreto, la denominación de sus líneas es ML1: Pinar de Chamartín-Las Tablas, ML2: Colonia Jardín-Estación de Aravaca, ML3: Colonia Jardín-Puerta de Boadilla y ML4: Tranvía de Parla (línea circular). Aunque la aparición del metro ligero como tal es novedosa en Madrid, ya existen muchas experiencias en otras ciudades, españolas y europeas, que están teniendo éxito. La aparición de un nuevo material móvil con importantes prestaciones de calidad ha hecho que se recuperen los antiguos tranvías

para las ciudades modernas, ya que se adaptan tanto a los nuevos desarrollos como a cascos antiguos o históricos (González, 2006).

Este medio de transporte público posee unas características propias que, además de dotarle de ciertas ventajas comparativas frente a los otros modos de transporte colectivos, permite complementarlos y mejorar el sistema global de transportes en Madrid. Gallego et al. (2009) han demostrado un incremento en el precio de las viviendas, tanto en los municipios que reciben esas infraestructuras como en las viviendas más cercanas a los citados medios de transporte.

En el marco de la Comunidad de Madrid, podemos destacar entre las ventajas que han motivado la construcción de metros ligeros las siguientes (González, 2006):

- El Metro Ligerero es más accesible debido a sus paradas en superficie, y al diseño de su material móvil con piso bajo.
- El Metro Ligerero es más cómodo y confortable, ya que cuenta con aire acondicionado, numerosos asientos por tren, y es muy silencioso.
- El Metro Ligerero, al igual que el metro convencional, es menos contaminante que el vehículo privado.
- El Metro Ligerero es un modo de transporte rápido y de gran conectividad con los principales nodos de transporte público, como son el metro, el autobús y el ferrocarril de cercanías.

A ello cabe añadir que, en la actualidad, debido a la masificación de la circulación de automóviles privados en nuestra región, podría pensarse *a priori*, que el transporte en autobús puede presentar algunos inconvenientes. En consecuencia, en los últimos años, las autoridades públicas se han mostrado interesadas en transportes alternativos como los tranvías o metros ligeros. Asimismo, otros aspectos que han contribuido a su puesta en marcha han sido la flexibilidad de trazado, una fácil accesibilidad, el bajo consumo energético, la nula contaminación atmosférica, una baja contaminación acústica, la larga vida útil o el menor coste económico (González, 2006). En este sentido, las nuevas

tecnologías aplicadas a los metros ligeros, entre ellos, los de la Comunidad de Madrid, han tratado de conseguir una disminución considerable del ruido, una mejora sustancial de la eficiencia energética, menor congestión y contaminación, mayor seguridad, que los tranvías originarios.

La consecución de una menor congestión por las zonas por las que transcurren, permite así al usuario desplazarse en menor tiempo, así como originar un beneficio social. A mayor abundamiento, este sistema de transporte público aporta seguridad. El Metro Ligero se integra perfectamente en la ciudad, su plataforma no presenta ni barreras longitudinales ni transversales y comparte la misma rasante que el resto de la calzada. Sus vehículos circulan en gran parte de su trazado por una plataforma reservada pero no exclusiva, ya que en algunos tramos, comparte la vía tanto con el transporte rodado público y privado como con los peatones. Los cruces con los demás vehículos y peatones se encuentran debidamente señalizados. Como cualquier otro vehículo, el Metro Ligero está sujeto a señalización obligatoria mediante semáforos. Las señales luminosas de intersección (semafóricas) regulan el tráfico. El conductor, de acuerdo con su percepción de la situación del tráfico y el estado de las señales (viarias o tranviarias) que aparecen delante del vehículo, es responsable del cumplimiento de las mismas, de acuerdo al Reglamento de Circulación de Metro Ligeros y Tranvías de la Comunidad de Madrid. La “convivencia” del Metro Ligero, vehículos y peatones se regula mediante señalización viaria y, por supuesto, con la obligatoriedad por parte de los conductores y peatones de respetar escrupulosamente las medidas de seguridad. El metro ligero utiliza la fuente energética más limpia de las empleadas en el transporte, como es la eléctrica. Su bajo consumo le convierte en un modo de transporte respetuoso con el medio ambiente. Y, además, ahorrador, puesto que al frenar devuelve la energía a la red y puede ser reutilizada, lo que puede suponer un 30 por ciento de ahorro sólo con el frenado⁷. El ruido que genera el metro ligero es inferior al de otros medios urbanos de transporte de superficie, lo que garantiza una baja contaminación acústica. Este modo de transporte público innovador, de fácil acceso, rápido, seguro, ecológico y cómodo, da

⁷ González Jiménez, A. & VV.AA “Reaprendiendo a convivir con el metro ligero en la Comunidad de Madrid”. V Congreso Nacional de Ingeniería Civil, 2007.

servicio a una de las mayores zonas de crecimiento de la Comunidad de Madrid en los próximos años, escenario de nuevos desarrollos urbanísticos y empresariales. Asimismo, contribuye a la transformación y desarrollo de estos núcleos urbanos y a la forma de desplazarse dentro de los mismos, evitando los atascos provocados por el exceso de vehículos privados en circulación. La llegada del metro ligero posibilita a los residentes de estos municipios, acceder en pocos minutos, a la red de Metro de Madrid o realizar desplazamientos locales (González et al., 2007).

Sin embargo, dado el contexto de crisis económica de estos últimos años, uno de los aspectos menos atractivos de este tipo de proyectos es el elevado coste de inversión y mantenimiento que suponen. Dado que por su naturaleza ha de financiarse con fondos públicos, se ha optado en varios casos por el sistema concesional, mediante el cual se adjudica a un tercero el contrato para la construcción y explotación de la infraestructura y modo de transporte. Este el caso de las líneas de metro ligero de la Comunidad de Madrid. El hecho de que se trate de un modelo concesional no es sinónimo de gratuidad para las arcas públicas, puesto que el concesionario en función de lo pactado con la Administración puede percibir, por ejemplo, los ingresos derivados por los billetes cobrados a los usuarios o subvenciones públicas para construir la obra o explotar el servicio.

En este aspecto, la evaluación económica tiene una tarea fundamental, ya que va a coadyuvar a la toma de decisiones del gestor público para llevar a cabo un proyecto de tal calibre. Si un proyecto no resultara rentable para un concesionario el coste recaería en la Administración, si aquel finalmente abandona la concesión. Por ello, la evaluación tanto *a priori* con demanda estimada como posteriormente con demanda real es imprescindible, puesto que, si el concesionario deja la concesión, los perjudicados son, en definitiva, los ciudadanos. Ello no obsta a que si un proyecto tiene una voluntad social y es viable el sistema concesional puede constituir un instrumento adecuado.

A mayor abundamiento, la evaluación económica no ha de quedarse simplemente en los aspectos económico-financieros, sino que ha de ir más allá, abarcando también aquellos

de tipo social y medioambiental. Por tanto, es necesario crear mecanismos ágiles, pragmáticos y comparables que contribuyan al diagnóstico y evaluación de los problemas y ejecución de proyectos en materia de transporte urbano (Corbacho, 2015).

En consecuencia, **la realización de esta tesis doctoral resulta muy apropiada y su justificación** se basa en analizar si en un contexto determinado, como es la crisis económica iniciada en 2008, es adecuada la construcción de un metro ligero mediante una concesión administrativa o si, por el contrario, deben promoverse otros medios de transporte alternativos, público o privado. Es especialmente en esta nueva coyuntura económica en la que las Administraciones Públicas han visto reducidos sobremanera sus ingresos y se ha cuestionado con determinación proyectos como los analizados en esta tesis doctoral. Todo ello sin perjuicio de la oportunidad que ofrece en muchos casos la colaboración público-privada.

En concreto, **el objeto** de este estudio es el análisis de las concesiones que se han realizado para la construcción y explotación de los metros ligeros de la Comunidad de Madrid: los metros ligeros que transcurren por Sanchinarro y las Tablas; por Pozuelo, Boadilla y Ciudad Jardín; así como el tranvía de Parla. Para ello se han utilizado varias metodologías, destacando como eje principal el análisis coste beneficio. Este instrumento de evaluación se complementa, por lado, con un análisis multicriterio para ofrecer una visión alternativa de medición aislando básicamente elementos de carácter social y medioambiental y, por otro lado, la aplicación de la simulación Montecarlo para dar robustez y consistencia a los resultados obtenidos en el análisis coste beneficio. En definitiva, esta tesis doctoral pretende poner de manifiesto la necesidad de realizar una evaluación económica, social y medio ambiental, en proyectos de la envergadura de los metros ligeros y, que han sido objeto de debate en el marco de la crisis económica de estos años.

La hipótesis que se plantea en esta tesis doctoral resulta muy oportuna en el contexto actual, ya que consiste en contrastar la eficacia y eficiencia del metro ligero en los proyectos antes descritos. De esta forma, la presente tesis parte de la existencia de

una serie de oportunidades que ofrece el metro ligero frente a otros medios de transporte en términos de rentabilidad social, haciendo hincapié en externalidades como el ahorro de tiempo, la contaminación ambiental y acústica o el número de accidentes. Pero sin olvidar los elevados costes de inversión y mantenimiento que requieren. Todo ello se estudiará en profundidad con las tres metodologías apuntadas, con el fin de poder decidir sobre la viabilidad de un proyecto, no sólo económicamente sino también desde una óptica social y medio ambiental y, en definitiva, poder afirmar si estas inversiones son eficaces y eficientes.

Adicionalmente, el planteamiento realizado en esta tesis doctoral no se queda sólo en el estudio del metro ligero, sino que se realiza un contraste con aquel modo de transporte que en comparación con el metro ligero pueda resultar más adecuado. Es por ello por lo que en esta tesis doctoral, se va a realizar un estudio comparando el metro ligero con el autobús, para confrontarlo con otra opción de transporte público y por otro lado, se va a comparar también el metro ligero con el vehículo privado. En ese aspecto, ha sido un punto controvertido el hecho de que la construcción y puesta en funcionamiento del tranvía moderno puede no ser óptima. El metro ligero podría ser un medio de transporte poco competitivo en relación con los vehículos privados o, incluso, con respecto a los autobuses, a todo ello esta tesis pretende dar una respuesta fundamentada y coherente.

En definitiva, **las aportaciones del presente trabajo** permiten ayudar a decidir a la Administración Pública, teniendo como objetivo preeminente la racionalización del gasto público, el construir o no un metro ligero mediante el sistema de concesión, dependiendo de los factores que influyan en dicha decisión, en especial, en función de los niveles de demanda, así como de las externalidades que éste genera, máxime en un marco económico-social como es el actual. Por tanto, el estudio que esta tesis realiza incorpora los beneficios de carácter social a través de las externalidades positivas que genera la construcción de los metros ligeros y trata de analizar si tales beneficios sociales son suficientes para compensar los altos costes que suponen su puesta en marcha. Cuando el beneficio social supera el coste social, en lo que respecta a contaminación, accidentes de tráfico y ahorro de tiempo, parece entenderse viable su

realización. Es importante reducir estos costes en la medida en que la necesidad del proyecto público lo permita, porque la contaminación y la congestión se han convertido en problemas nada desdeñables, pudiendo este tipo de análisis incluirse de forma sistemática en los estudios de viabilidad de proyectos análogos.

Lo que no parece cuestionable es llevar a cabo un proyecto de metro ligero si se construye en un entorno en el que su recorrido permita a los viajeros reducir su tiempo de desplazamiento, la congestión, la contaminación o el número de accidentes, a pesar de sus altos costes de construcción y operación. Por tanto, el análisis financiero de un proyecto *per se* no parece en principio un criterio adecuado para la toma de decisiones del sector público, siempre que no venga acompañado de un estudio más amplio desde la perspectiva económica-social. A pesar de todo, incluso teniendo en cuenta esto último, puede no resultar propicio realizarlo.

La presente tesis doctoral pretende dar luz a este tipo de decisión, teniendo en cuenta el problema económico fundamental de la asignación óptima de los recursos dada su escasez. La utilización de las citadas metodologías en un mismo estudio, esto es, el análisis coste beneficio, el análisis multicriterio y la simulación Montecarlo da lugar a la obtención de resultados de mayor firmeza y fiabilidad. A partir de este trabajo, se podrían abrir líneas de investigación futuras tendentes a incidir en los aspectos citados.

Por otro lado, **en cuanto a la estructura de esta tesis doctoral**, tras este **capítulo 1** introductorio relativo a la justificación, objetivos y aportaciones, se realizará en el **capítulo 2** una exposición detallada y profunda sobre el **sistema concesional** en relación con **los fallos de mercado** y se desarrollará un **análisis sobre el grado de intervención pública** en esta materia. En particular, se expondrá una serie de modelos en base a la propiedad-regulación, gestión y financiación, así como los rasgos caracterizadores del régimen concesional, analizando aspectos cualitativos y cuantitativos del contrato de concesión de obra pública. Asimismo, se presentará una experiencia comparada de los metros ligeros en Europa, en España y en la Comunidad de Madrid y así como las conclusiones extraídas de lo expuesto en ese capítulo.

En los **capítulos siguientes** se abordan cada una de las **metodologías empleadas** en los que se dedica un apartado exclusivo a analizar los resultados obtenidos. En todos ellos, se elabora un análisis comparativo del metro ligero frente al autobús y por otro lado respecto al vehículo privado, como ya se ha apuntado previamente, puesto que de esta manera, se dispone de otras opciones con las que adoptar una mejor decisión sobre si el proyecto se debería realizar, en este caso, el metro ligero o por el contrario, si se ha de optar por otra alternativa, establecer una línea de autobús o que los usuarios realicen un determinado desplazamiento en vehículo privado, en vez de construir un metro ligero.

En primer lugar, en el **capítulo 3** la tesis doctoral se ha centrado en el **análisis coste beneficio**, abordando un estudio detallado de sus elementos base teóricos y sus dos perspectivas, esto es, la óptica del bienestar y la visión tradicional o por fases, siendo esta última la utilizada en la parte empírica de esta tesis. Se ha elaborado una revisión extensa de la literatura sobre esta metodología mediante la exposición y examen de los trabajos de diversos autores, en materia de transportes e infraestructuras. Se presentan también las decisiones metodológicas que se han tomado para la realización posterior de la práctica del análisis coste beneficio por fases para las líneas de metro ligero de la Comunidad de Madrid. Y se exponen las fases del proceso que se han seguido, los valores obtenidos de las externalidades consideradas el ahorro de tiempo, la contaminación ambiental, el ruido y los accidentes, de los costes de inversión y mantenimiento, así como los resultados finales de los criterios de decisión VAN, TIR, VAN costes, VAN beneficios y ratio coste beneficio, que permitirán extraer conclusiones muy relevantes en este campo, las cuales también se evidencian en este capítulo. Los resultados vienen dados por tres modelos distintos: un **modelo inicial**, que en el que se ha tenido en cuenta la demanda estimada, un **modelo con variante**, en el que se ha aplicado el efecto de la demanda real desde la puesta en funcionamiento de los metros ligero objeto de estudio y, se ha elaborado un **análisis de sensibilidad** mediante cambios en la demanda que determinan en muchos casos incrementos de demanda muy considerables para que la inversión sea rentable de forma económica, social y medioambiental.

En segundo lugar, en el **capítulo 4** se elabora una exposición de los fundamentos teóricos del **análisis multicriterio**, así como una revisión de los trabajos que han elaborado distintos expertos en el sector del transporte e infraestructuras. Se presentan las fases que se seguirán en el proceso de realización del análisis y en concreto, la definición de los criterios para realizar el estudio, la determinación de indicadores para cuantificar los criterios. Posteriormente, se definen las funciones de utilidad para cada criterio, se ponderan los criterios y se agregan las funciones de utilidad parciales para obtener la utilidad total. Se ofrecen los resultados y los corolarios que de ellos se desprenden. Se trata, por tanto, de una metodología que da lugar a un resultado en términos de utilidad y, por tanto, una visión suplementaria a la del análisis coste beneficio por fases construido en el capítulo 2. En definitiva, el análisis multicriterio permite ofrecer una aproximación en términos de utilidad y centrándose en aspectos sociales y medioambientales fundamentalmente, que constituye un complemento idóneo para el análisis coste beneficio realizado,

En tercer lugar, en el **capítulo 5** se ha aplicado el método de **simulación Montecarlo** cuya aplicación práctica cerrará esta tesis doctoral. Con esta metodología se introduce el riesgo o la incertidumbre en el análisis coste beneficio. Se ha presentado este método de evaluación desde el punto de vista teórico y se han recopilado diversos trabajos sobre la base de este instrumento metodológico relativos al sector del transporte e infraestructuras. A este respecto, partiendo de las premisas consideradas en la elaboración del análisis coste beneficio para los **modelos inicial y con variante**, se han realizado diversas simulaciones de las variables de demanda potencial y demanda real de las líneas de metro ligero de la Comunidad de Madrid y se han predicho, para un nivel de confianza del 95%, los posibles valores que tomarían los criterios de decisión calculados en el análisis coste beneficio, es decir, VAN, TIR, VAN costes, VAN beneficios y ratio coste beneficio. Por último, se muestran los resultados y conclusiones logrados. La técnica de análisis de la simulación Montecarlo refuerza los resultados del análisis coste beneficio con la incorporación de la variable incertidumbre, con lo que da una firmeza sustancial a las conclusiones obtenidas en esta tesis doctoral.

2. FALLOS DE MERCADO E INTERVENCIÓN PÚBLICA EN LOS SERVICIOS DE TRANSPORTE URBANO. LOS MECANISMOS DE CONCESIÓN Y EL METRO LIGERO. EXPERIENCIA COMPARADA

En el ámbito de las infraestructuras de transporte, la existencia de fallos de mercado justifica la intervención pública, para evitar que su construcción sólo se rija por criterios de rentabilidad y no se tengan en cuenta criterios de carácter social. Es por ello por lo que en este capítulo se expondrán los fallos de mercado y medios de intervención pública que permitan corregirlos.

Entre los instrumentos de intervención pública, se analizará en profundidad una figura en boga actualmente, la concesión pública. Prueba de ello es las experiencias de su utilización en el transporte urbano europeo y español que también se detalla en este capítulo y en particular, en el metro ligero, modo de transporte que ha resultado ser objeto de discusión, especialmente en el contexto de crisis económica vivida en los últimos años. En ese sentido, siendo el eje de la aplicación práctica de las distintas metodologías empleadas en la presente tesis doctoral, se ofrece igualmente una visión integral de los metros ligeros en la Comunidad de Madrid, desde sus orígenes hasta la actualidad.

2.1.Fallos de mercado y justificación de la intervención pública en el transporte urbano

El sistema de transporte urbano en su vertiente pública tiene una serie de características peculiares a destacar:

En primer lugar, porque no es un bien de consumo final sino un bien intermedio. Las decisiones sobre la demanda de transporte están muy influidas por los tiempos en cada modo, además de por las preferencia de los individuos y las tarifas (De Rus et al., 2003).

En segundo lugar el transporte urbano se caracteriza por la imposibilidad de almacenamiento e indivisibilidad. Por ejemplo, si se construye una infraestructura para que pase una línea de metro ligero, su puesta en circulación para transportar viajeros a una hora y día concretos, supone una oferta que debe consumirse en el momento en que se está produciendo el servicio de la línea o se pierde de forma irremediable. En cuanto a la indivisibilidad, el tamaño de la infraestructura no puede dividirse en porciones más pequeñas, para ajustar la oferta a la demanda, todo ello sin perjuicio de la posibilidad de establecer distintos niveles de capacidad, por ejemplo, reducción de la frecuencia de los trenes en fuera de las horas punta, etc.

En tercer lugar, a la hora de construir una infraestructura, se deben tener muy cuenta el nivel de inversión óptima y los costes asociados a la misma. Bien es sabido que el sistema de transporte es un sector que genera un volumen considerable de costes fijos de carácter irrecuperable. Estos costes hundidos junto con la larga vida útil de los activos y la limitación física que impone una infraestructura, tiene una implicación importante a la hora de justificar la intervención del sector público.

En cuarto lugar, el sistema de transporte, entre ellos, el urbano, se caracteriza por la generación tres tipos de costes (De Rus et al., 2003), a saber: los costes del productor, de los usuarios y los costes sociales. En ese sentido, el aumento de la participación privada en este ámbito se justifica de cara a la distribución de los costes citados. Asimismo, el sector transporte ocasiona diferentes tipos de externalidades, negativas, tales como la contaminación o la congestión y positivas, por ejemplo, el acceso de determinados individuos a zonas de difícil o imposible accesibilidad, el ahorro de tiempo o la reducción de accidentes.

En virtud de las características anteriores, la connotación de transporte urbano público supone que el criterio de eficiencia económica no es una condición suficiente en este ámbito, sino que exige la consecución de un objetivo social. Es por ello, por lo que, en el marco del mercado de transporte urbano público se da la existencia también de fallos

de mercado, los cuales serán analizados en este capítulo, pasando a considerar los siguientes:

- 1) La tendencia monopolística. Monopolio natural.
- 2) Presencia de ciertas externalidades.
- 3) Asimetría en el acceso a la información de los actores implicados.
- 4) Necesidad de control de la calidad y los costes.

- 1) La tendencia monopolística. Monopolio natural.

Durante mucho tiempo las grandes empresas de transporte se han mantenido en manos del Estado. Esa situación impedía la entrada al mercado a posibles competidores: la justificación habitual era el carácter estratégico, las obligaciones de servicio público y el carácter de monopolio natural de los puertos, aeropuertos y ferrocarriles. La evidencia de una menor eficiencia en la producción directa de los servicios de transporte por parte del sector público ha llevado al aumento de la participación privada, pero no a la desaparición de la intervención de los gobiernos sino a su redefinición.

Tradicionalmente las redes de infraestructuras han sido un monopolio natural teniendo por objeto la provisión de un servicio público, presentando rendimientos crecientes a escala. Un monopolio natural se origina debido a que una sola empresa puede abastecer al mercado y sus costes promedio a largo plazo (CPLP) todavía siguen bajando cuando se llega a los límites de la demanda del mercado. Es decir, el monopolio natural se puede dar si sucede que los costes medios son tan altos que si hay más de un oferente siempre habría pérdidas, o también por el hecho de que la demanda es muy pequeña con respecto a los costes.

El monopolio natural es un típico ejemplo justificativo de la existencia tanto de empresas públicas como de empresas privadas reguladas por el Estado. Las características tecnológicas de sus procesos productivos, su eficiencia productiva,

aconsejan a veces, la presencia de una sola empresa en el mercado, de ahí la importancia esclarecedora de su definición.

La concepción clásica del monopolio natural se apoyaba en dos motivos económicos esenciales, las denominadas “economías de escala” y las “economías de alcance”. Ambos tipos de economías pueden darse para ciertos niveles de producción y no en otros, así como pueden o no coincidir conjuntamente. Más concretamente, las economías de escala reflejan el caso en que los costes medios decrecen cuando el nivel de producción aumenta, o en otros términos cuando el output aumenta en una determinada proporción el coste total de obtenerlo se incrementa en menor proporción, por lo que una sola empresa podría abastecer la demanda total del mercado a un coste unitario menor que si lo hicieran dos o más empresas⁸. Por su parte, las economías de alcance son el ahorro de recursos obtenido al producir dos o más servicios de forma conjunta. Formalmente, implican que el coste medio de producir un servicio de forma individual es más alto que si se produce junto a otros servicios. Esta situación puede ocurrir cuando la producción conjunta de varios servicios permite optimizar el uso de los factores de producción, por ejemplo, a través de un monopolio natural.

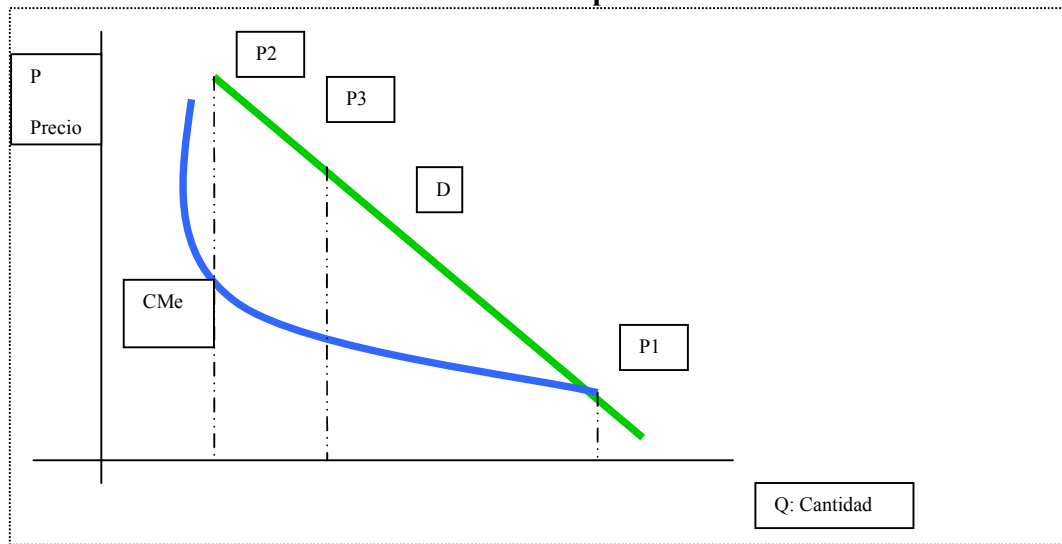
Esta condición se apoyaba en la existencia de unos cuantiosos costes fijos, a veces de carácter irrecuperables (de difícil o nula aplicación a otros usos, caso de industrias de abastecimiento de agua, energía eléctrica, telecomunicaciones, etc.), los que al ser asignados a un output en aumento hacían decrecer persistentemente los correspondientes costes medios totales. Los monopolios naturales pueden darse cuando se necesitan activos altamente especializados y se requieren inversiones de gran importancia. Cuando un monopolio es de propiedad pública, el proveedor del bien es el gobierno o una empresa propiedad del gobierno. En principio, la ventaja de la

⁸ Desde un punto de vista social, el concepto de economías de escala que interesa es el no pecuniario, el que significa un ahorro de recursos por unidad de producto obtenido con la expansión de la producción. El carácter pecuniario de algunas economías de escala tiene un significado más de transferencia de costes que de ahorro real de recursos, es el caso de empresas que obtienen sustanciosas deducciones de sus proveedores en la compra de inputs, los costes totales para el conjunto de la sociedad es el mismo pero distribuido de forma diferente.

titularidad pública es que un monopolio natural con dicha titularidad puede fijar precios basados más en criterios de eficiencia que en la maximización de beneficios (Krugman y Wells, 2006).

El problema clásico del monopolio natural puede ser ilustrado en el siguiente gráfico, donde una sola empresa abastece el mercado de un bien o servicio (Waingarten, 2011), no almacenable, con el supuesto simplificador de precios constantes de los inputs. El problema que plantea el monopolio natural es que incurre en fuertes costes fijos para producir a costes marginales (CMg) relativamente pequeños, dando lugar a costes medios (CMe) decrecientes.

Ilustración 2.1. Monopolio Natural



Fuente: Elaboración propia.

Donde la demanda del mercado es: $p=p(q)$ (función inversa) y los $CMe=C(q)/q$. Si la empresa no puede almacenar el producto, ni discriminar precios y no existen subvenciones por parte del Estado, la empresa fijará un volumen de producción tal que: Ingreso Total \geq Coste Total es decir $q^* \leq q_1$ y un precio $p^* \geq CMe$ para poder subsistir en el mercado. Supuesto que una nueva empresa se incorpore al mercado (no hay barreras de entrada) con idéntica tecnología que la existente, misma función de producción y costes, las opciones que tendrían serían:

No podrá producir $q > q_1$, ya que los beneficios serían negativos ($CMe > p$).

Si oferta q_2 ($q_2 < q_1$), y a un precio $p_2 > CMe$ (beneficios extraordinarios), otra empresa podría entrar ofertando q_3 ($q_2 < q_3 < q_1$), a un precio menor p_3 ($p_2 > p_3 > p_1$) y costes medios menores, por lo que esta tercera empresa expulsaría a la segunda del mercado y la secuencia continuaría hasta que, la entrada, fijando precios más bajos, quede imposibilitada. Situación que sucederá cuando se fije un precio igual al coste medio (p_1 , q_1), en otras palabras, cuando la competencia entre las empresas que pudiesen entrar no fuese posible.

Pero la noción tradicional del concepto de monopolio natural que se fundamentaba en la existencia de economías de escala para cualquier incremento del nivel de producción ha cambiado sustancialmente. Estudios sobre el origen y evolución del concepto (Baumol et al. (1977), Panzar y Willig (1977)), así como los avances tecnológicos acaecidos en algunas de las industrias típicas de aquella calificación clásica, han puesto de manifiesto que se trata de un concepto relativo no solo con los costes de producción sino también con la demanda que cubre dicha producción.

En concreto, para el caso de un solo producto las economías de escala son suficientes pero no necesarias para que haya un monopolio natural; condición de suficiencia que deja de serlo cuando se trata de producción multiproductos, lo que implica una nueva concepción de los atributos de este tipo de mercado basado en dos elementos fundamentales, la “subaditividad de costes” es más económico producir con una sola empresa que con varias, y la propia “sostenibilidad” o estabilidad del monopolio natural, inexistencia de incentivos suficientes para la entrada de potenciales competidores.

Esta nueva orientación del concepto de monopolio natural basada en la idea de subaditividad de costes más que en los rendimientos crecientes nos permite ampliar su concepción a casos en los que no cumpliéndose la condición de economías de escala puede darse la existencia “natural” de una sola empresa. La idea básica de este enfoque

reside en que para obtener un determinado volumen de producción sea menos costoso realizarlo con una sola empresa que con más de una.

A mayor abundamiento, las posibilidades de que un monopolio natural en transporte, se mantenga como tal, aun en casos en los que la demanda, por efectos del crecimiento poblacional, se desplace, muestra la pertinencia de profundizar en la consideración de las circunstancias en las que promover la libre competencia y la libre entrada, es más beneficioso para el crecimiento económico y el bienestar, que la aplicación de medidas regulatorias *per se*. En estos casos, el crecimiento económico será resultado del cambio tecnológico y la innovación. En la teoría económica, y en particular en materia de transportes, el cambio tecnológico en general es asumido como un elemento que actúa en el largo plazo y es determinante de la mejora del bienestar social. En este trabajo, se asume la posibilidad de un cambio tecnológico que redunde en un aumento de la eficiencia, a corto o a medio plazo, que le permite al monopolio natural mantenerse como tal por un mayor tiempo, no obstante variaciones positivas de la demanda. Cuando la firma logra sostenerse en tal mercado, a partir de la ventaja tecnológica, estará construyendo barreras eficientes y eficaces a la entrada del mercado en el sentido de Posner, lo que supone que las trabas legales serán innecesarias para sostenerse como monopolio puro. Así, será probable que el intento por desarrollar la competencia en estas situaciones, redunde en ineficiencias y afectaciones al bienestar social, o en la desaparición de aquellos mercados incapaces de sostener la regla: precio igual a coste marginal. Por lo tanto, se puede concluir que, un planificador central benevolente deberá analizar la estructura de mercado antes de introducir reglas de política económica, las que en casos de ramas en las que existen monopolios naturales sostenibles, deberán tender a desarrollar la competitividad al interior de esta, antes que la propia competencia, a fin de estimular el bienestar social. Finalmente, cabe señalar que el análisis de una situación en la que es más conveniente producir con una firma que con más de una, generaliza el concepto de monopolio natural, pues no supone costes decrecientes a escala. En este sentido, pueden citarse casos en los que aun a pesar de existir costes crecientes a escala, el coste de producir dentro de determinados límites es menor cuando se realiza con una firma que con más de una, lo que nuevamente alerta

sobre el necesario cuidado con que el planificador benevolente deberá analizar los mercados monopolistas (Accinelli y Tenorio, 2012). Especialmente en proyectos de transporte e infraestructuras en los que las actuaciones son a largo plazo y los costes elevados.

2) Presencia de ciertas externalidades.

Las externalidades, suponen una influencia no compensada de un agente sobre el bienestar de otro. Dicha influencia puede generar un mayor nivel de bienestar (externalidad positiva) o, por el contrario, provocar un perjuicio (externalidad negativa). Los efectos que provocan las externalidades surgen de la inadecuada definición y vigilancia de los derechos de propiedad. Por ejemplo, cuando un vehículo contamina, el perjuicio que provoca se extiende a toda la sociedad, el causante no paga por ello, y quienes sufren sus efectos tampoco se ven compensados. Al final, es el sector público quien debe resolver el problema, utilizando para ello los impuestos pagados por todos. Puede que el problema quede resuelto, pero a costa de que se contamine demasiado, haya que pagar mucho por descontaminar, y además, puede que alguien se beneficie en exclusiva de esa actividad contaminante que ha afectado al resto. La explicación más clara sobre las externalidades negativas en materia ecológica en la construcción de obras de infraestructura está indicada en una cita de Barry Commoner (1969): *“Clearly, we have compiled a record of serious failures in recent technological encounters with the environment. In each case, the new technology was brought into use before the ultimate hazards were known. We have been quick to reap the benefits and slow to comprehend the costs”*.

Pigou estudió la problemática de las externalidades y justificaba una intervención estatal a fin de corregir lo que es percibido como un fallo de mercado, intervención que tomará la forma de un subsidio a las empresas que producen externalidades positivas y un gravamen en el caso de las externalidades negativas, dando lugar a los llamados Impuestos pigouvianos. (Guevara, 2013). El efecto del impuesto es lograr que el coste marginal privado (lo que le cuesta al productor producir) más el impuesto sea igual al

coste marginal social (lo que le cuesta a la sociedad, incluyendo al productor, que produzca). Este impuesto no genera una pérdida en la eficiencia de los mercados, dado que internaliza los costes de la externalidad a los productores o consumidores, en vez de modificarlos. En particular, se han estudiado la tarificación pigouviana diferenciada (permite cobrar externalidad no internalizada), y constituye una medida capaz de alcanzar una asignación eficiente de recursos, siempre y cuando no exista poder de mercado e igual calidad de información (Aravena, 2013).

En relación al transporte urbano me interesa destacar las siguientes externalidades: dentro de las positivas el ahorro de tiempo y la reducción de accidentes. Como negativas resaltar: la contaminación atmosférica y acústica, y la congestión (ésta última vinculada en sentido inverso con el ahorro de tiempo).

Respecto al ahorro del tiempo, el transporte urbano, esto es: el trayecto al trabajo y el de vuelta a casa supone un coste considerable para muchos empleados. Una parte de este coste es relativamente fácil de cuantificar, por ejemplo el gasto en combustible, aparcamiento, peajes o billetes de transporte público, pero otros componentes tienen un coste mucho más complicado de medir en términos monetarios. Entre estos últimos se incluye el coste del tiempo. (Gutiérrez-Domènech, 2008).

En el ahorro de tiempo, en los servicios de transporte pueden identificarse algunos efectos de red derivados de las ventajas que tiene la existencia de un número elevado de usuarios. En particular, en el transporte regular (autobuses, líneas aéreas, servicios marítimos) al incrementarse el número de viajeros las empresas responden introduciendo mayores frecuencias, lo cual permite a todos los usuarios reducir sus tiempos de espera y un mejor ajuste de la oferta a sus preferencias en términos de horarios. Este tipo de externalidad positiva recibe en Economía del Transporte el nombre de “efecto Mohring”, en honor al autor que primero las analizó en el contexto del transporte urbano. Además de este tipo de efecto de red, derivado de una mayor densidad de activos físicos o de número de usuarios, en la industria del transporte hay otras economías de red que afectan a las decisiones de las empresas productoras de

servicios, aunque en último término repercuten sobre los usuarios. Por ejemplo, puede señalarse una tendencia observada en las últimas décadas principalmente en el transporte aéreo y marítimo, consistente en diseñar redes de líneas regulares de tipo “centro-radial” (hub-and-spoke), en las cuales hay unos nodos principales (hubs), que se conectan entre sí mediante vehículos de gran capacidad y un conjunto de nodos secundarios, que sólo tienen conexión directa con alguno de los nodos principales, y que son servidos mediante vehículos más pequeños y menores frecuencias. Con esta estructura de red, las empresas tratan de beneficiarse de las economías de escala que supone poder utilizar vehículos grandes, lo cual puede hacerse sólo en segmentos con mucho tráfico. Los nodos principales tienen una gran demanda por parte de los usuarios, ya que el desplazamiento entre dos nodos secundarios debe hacerse mediante al menos una conexión en los principales. Esto obliga a que los puertos o aeropuertos que desempeñan el papel de *hubs* deban tener suficiente capacidad para acomodar este diseño radial por parte de las empresas. ¿Resulta interesante para los usuarios este tipo de estrategia empresarial en el diseño de sus redes? No existe una respuesta única; normalmente los viajeros se benefician porque la configuración centro-radial permite disponer de mayores frecuencias que si se conectasen todos los nodos mediante servicios directos, pero simultáneamente se ven perjudicados al emplear más tiempo de viaje debido a las conexiones obligatorias en los nodos principales (De Rus et al., 2003).

Vinculado al ahorro de tiempo se encuentra también el concepto de congestión. Ambos actúan a la inversa, es decir, un usuario se ahorrará más tiempo en su desplazamiento si la vía por la que circula no se encuentra congestionada. La congestión se utiliza frecuentemente en el contexto del tránsito vehicular, tanto por técnicos como por los ciudadanos en general. Se define como “acción y efecto de congestionar o congestionarse”, en tanto que “congestionar” significa “obstruir o entorpecer el paso, la circulación o el movimiento de algo”, que en nuestro caso es el tránsito vehicular.

La influencia del sistema de transporte urbano sobre la congestión, incluyendo la provisión de suelo urbano para infraestructura de transporte, se desenvuelve bajo

aspectos muy particulares, entre las cuales se pueden mencionar las siguientes (Thomson y Bull, 2002):

- La demanda de transporte es “derivada”, es decir, pocas veces los viajes se producen por un deseo intrínseco de desplazarse; generalmente, obedecen a la necesidad de acceder a los sitios en que se llevan a cabo las distintas actividades (como el trabajo, las compras, el estudio, la recreación, el descanso, etc.), todas las cuales se realizan en lugares diferentes.
- La demanda de transporte es eminentemente variable y tiene puntas muy marcadas en las cuales se concentran muchos viajes, a causa del deseo de aprovechar en buena forma las horas del día para realizar las distintas actividades y para tener oportunidad de contacto con otras personas.
- El transporte se efectúa en limitados espacios viales, los que son fijos en el corto plazo; como es fácil de comprender, no se puede acumular la capacidad vial no utilizada para usarla posteriormente en períodos de mayor demanda.
- Las opciones de transporte que presentan las características más apetecidas —es decir, seguridad, comodidad, confiabilidad, autonomía, como es el caso del automóvil— son las que hacen un mayor uso del espacio vial por pasajero.
- Especialmente en zonas urbanas, la provisión de infraestructura vial para satisfacer la demanda de los períodos de punta tiene un coste muy elevado.

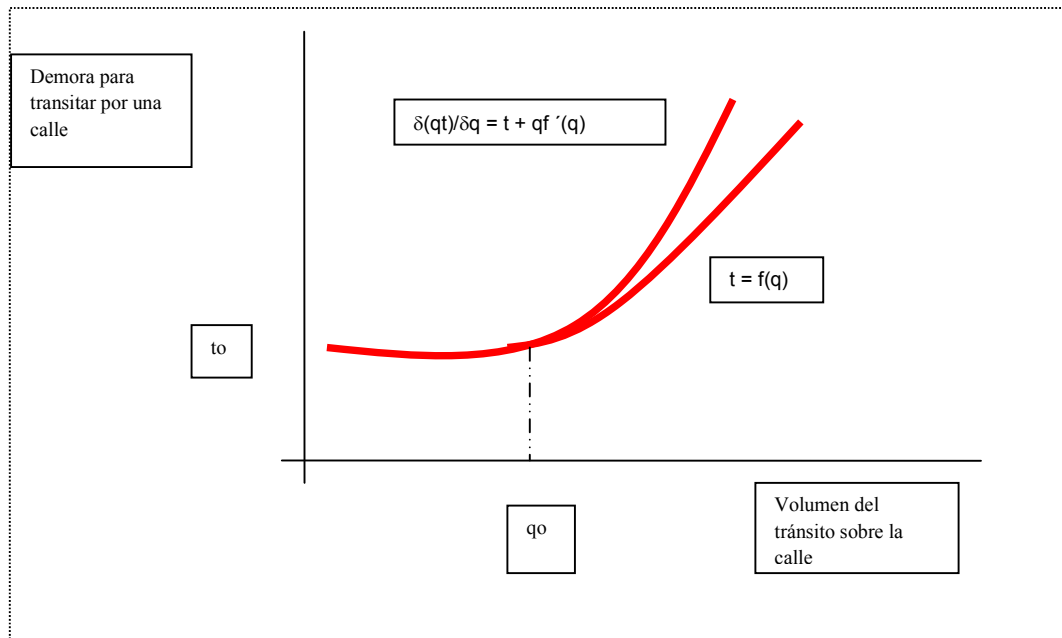
A raíz de todo lo anterior se produce congestión en diversos lugares, con sus negativas secuelas de contaminación, importante gasto de los recursos privados y sociales, y pérdida de calidad de vida.

Pero en definitiva, la causa fundamental de la congestión es la fricción entre los vehículos en el flujo de tránsito.

Hasta un cierto nivel de tránsito, los vehículos pueden circular a una velocidad relativamente libre, determinada por los límites de velocidad, la frecuencia de las intersecciones, etc.

Sin embargo, a volúmenes mayores, cada vehículo adicional estorba el desplazamiento de los demás, es decir, comienza el fenómeno de la congestión. Gráficamente:

Ilustración 2.2. Representación Gráfica de la Congestión de Tránsito



Fuente: Thomson & Bull, 2002.

A medida que aumenta el tránsito, se reducen cada vez más fuertemente las velocidades de circulación. El gráfico 1 presenta, mediante la función $t=f(q)$, el tiempo (t) necesario para transitar por una calle, a diferentes volúmenes de tránsito (q). La otra curva, $\delta(qt)/\delta q = t + qf'(q)$, se deriva de la anterior. La diferencia entre ambas curvas representa, para cualquier volumen de tránsito (q), el aumento del tiempo de viaje de los demás vehículos que están circulando, a causa de la introducción del vehículo adicional. Puede observarse que las dos curvas coinciden hasta el nivel de tránsito Q_0 ; hasta allí, el cambio en el tiempo de viaje de todos los vehículos es simplemente el tiempo empleado

por el que se incorpora, porque los demás pueden seguir circulando a la misma velocidad que antes. Por el contrario, de ahí en adelante, las dos funciones divergen, estando $\delta(qt)/\delta q$ por arriba de t . Eso significa que cada vehículo que ingresa experimenta su propia demora, pero simultáneamente aumenta la demora de todos los demás que ya están circulando. En consecuencia, el usuario individual percibe sólo parte de la congestión que causa, recayendo el resto en los demás vehículos que forman parte del flujo de ese momento. En definitiva, los usuarios perciben los costes medios privados, pero no los costes marginales sociales.

En cuanto a la reducción de accidentes viales producen daños a la salud y daños a la propiedad privada. En particular, la ocurrencia de víctimas fatales y/o de lesiones severas genera cuantiosas pérdidas de bienestar tanto de manera directa para las víctimas de los accidentes y de manera indirecta para los familiares, amigos cercanos y conocidos de las víctimas en términos de sufrimiento, dolor y potencial desamparo económico para los familiares.

Como tales, los costes producidos por los accidentes viales deben ser adecuadamente contabilizados en la evaluación coste-beneficio del uso de infraestructura vial. Los accidentes viales generan los siguientes costes (Lindberg et al., 1999; Jones Lee y Loomes, 2003):

- Costes por pérdida de bienestar de las víctimas de los accidentes y de los familiares, amigos y conocidos de las víctimas.
- Costes por pérdida de producción neta.
- Costes por tratamiento de lesionados: costes hospitalarios, de rehabilitación.
- Costes de daños a vehículos; Costes de daños materiales a la propiedad pública y privada.

- Costes administrativos incurridos por la policía, bomberos, juzgados y compañías de seguro.
- Costes de congestión no recurrente ocasionada por los accidentes de viales (suele ser ignorado).

Los costes por pérdida de bienestar se originan por la exposición de las personas a los riesgos de accidentes viales; son de naturaleza *ex ante* por tratarse de costes originados por la simple exposición al riesgo. Se supone que estos costes, además de internalizar los riesgos de daños a la salud y de bienestar emocional de las víctimas, también incluyen los costes económicos que el accidente le genera a la víctima y a sus dependientes. Los costes por pérdida de bienestar también deberían incluir la pérdida de bienestar que los familiares y conocidos de las víctimas. Los costes por pérdida de producción neta representan aquellos costes originados por la pérdida de producción futura que no son adecuadamente internalizados en las decisiones de los conductores.

Estos costes están dados por el valor actual de la pérdida de recaudación de ingresos impositivos debida a la ocurrencia de víctimas de gravedad. Básicamente, se trata de impuestos al trabajo que se dejan de recaudar.

Tradicionalmente, las pérdidas de bienestar de las víctimas de los accidentes viales eran calculadas según el valor actual de la producción futura perdida a consecuencia del siniestro vial, método que recibe el nombre de *capital humano*. En el caso de una víctima fatal, se calcula el valor presente de los ingresos futuros de una víctima de edad promedio utilizando fórmulas del tipo siguiente (Freeman, 2003):

$$CH = \sum (I_n p_n e_n) / (1+r)^n$$

(Sumatorio desde n=0 a n=N)

donde I_n es el ingreso promedio en el período n ; r , la tasa de descuento; p_n , la probabilidad de estar vivo en el período n , e_n , la probabilidad de estar empleado en el

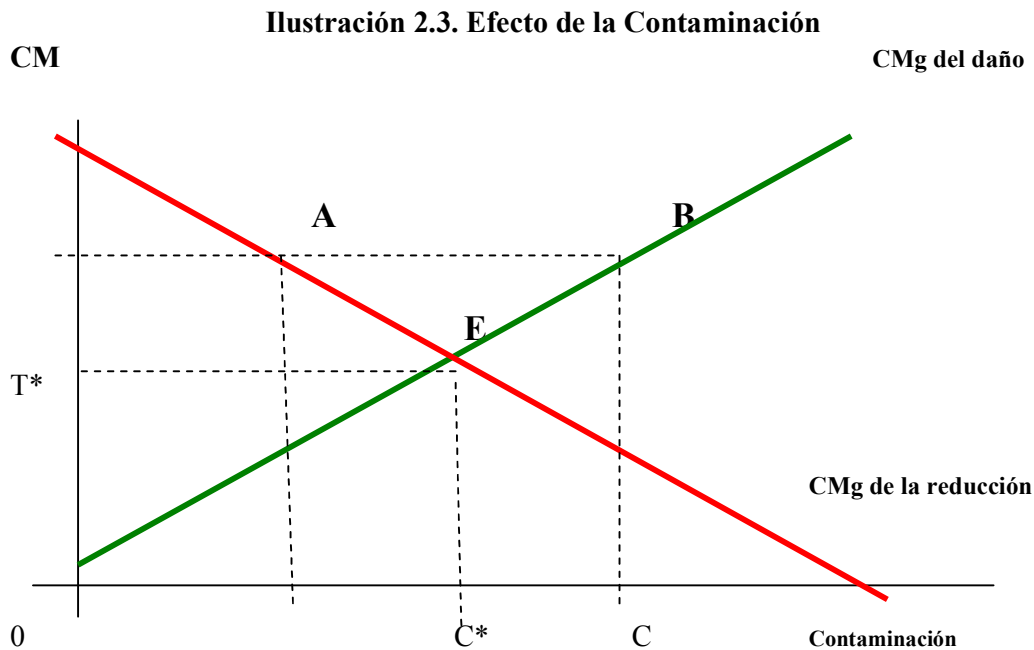
período n y N es el total de años laborales que una víctima fatal de edad promedio tendría por delante. A este valor se le solía agregar un extra para considerar el dolor y sufrimiento al que están expuestos los familiares y conocidos de las víctimas (Rizzi, 2008).

Por último, en relación con la contaminación, tanto la atmosférica como la acústica provocan una externalidad negativa. La contaminación atmosférica perjudica la salud humana y el medio ambiente. Las concentraciones de contaminantes atmosféricos son muy elevadas y persisten problemas de calidad del aire. Buena parte de la población europea vive en zonas —especialmente urbanas— donde se rebasan los niveles de calidad del aire: la contaminación por ozono, dióxido de nitrógeno y partículas (PM) comporta graves riesgos para la salud. Entre las fuentes de contaminación atmosférica, tanto de origen humano como natural, podemos destacar: el consumo de combustibles fósiles para la generación de electricidad, el transporte, la industria y los hogares; los procesos industriales y el uso de disolventes, por ejemplo en las industrias químicas y minerales; la agricultura; el tratamiento de residuos; algunos ejemplos de fuentes de emisión naturales son las erupciones volcánicas, el polvo arrastrado por el viento, el aerosol de sal marina y las emisiones de compuestos orgánicos volátiles de las plantas. (Agencia Europea de Medio ambiente, 2013).

La contaminación acústica o el ruido, es el exceso de sonido producido por actividades humanas que altera las condiciones normales del medio ambiente en una determinada zona en un determinado lugar. Si bien el ruido no se acumula, no se traslada de lugar ni se mantiene en el tiempo, como las otras contaminaciones, también puede causar grandes daños en la calidad de vida de las personas si no es controlado. La contaminación acústica constituye uno de los principales problemas medioambientales en Europa, a pesar de la falta de atención que se le presta. El ruido ambiental genera efectos nocivos importantes sobre la salud y la calidad de vida de la población. Estudios han demostrado la relación de contaminación acústica con: pérdida auditiva; alteraciones hormonales; aceleración del ritmo cardíaco, la tensión arterial y la respiración; cansancio, dolor de cabeza, irritabilidad y aumento de la agresividad; falta

de concentración y disminución del rendimiento intelectual. (Cruz Roja Española, 2013).

Por otro lado, en relación con el daño provocado por la contaminación por los vehículos, ya sea atmosférica o acústica, se puede tratar de paliar este tipo efectos negativos sobre la sociedad, mediante el alcance de un nivel de contaminación óptima. Sin embargo, en este punto, no significa que la contaminación sea cero, sino que se trata de un equilibrio parcial en el que se tengan en cuenta tanto los costes, como los beneficios marginales de la reducción de la contaminación. Gráficamente:



Fuente: Elaboración propia

El nivel de contaminación óptimo es aquel en el que los costes marginales (CMg) de la reducción igualan a los del daño producido, es decir, a un nivel de contaminación C^* . En el punto A, los costes marginales (CMg) de reducción son mayores que los del daño producido y, por tanto, ese nivel de contaminación es ineficiente. En el punto B ocurre lo contrario que en el punto A, pudiéndose alcanzar, desde el punto B, otras situaciones de mayores beneficios netos monetarios con reducciones adicionales de los niveles de contaminación.

El establecimiento de un impuesto T^* asegura el nivel C^* . Se trata de un impuesto óptimo que obliga al agente contaminador a pagar por el daño producido constituido por el valor monetario de los costes totales de reducción de la contaminación (CC^*E) derivado de la instalación de equipos menos contaminantes, el valor monetario del daño ambiental producido ($0EC^*$) y el pago residual del impuesto por usar los recursos medioambientales ($0T^*E$).

3) Asimetría en el acceso a la información de los actores implicados.

La asimetría de la información se produce cuando una de las partes en una operación tiene más o menos información que la otra parte. Un caso típico en teoría económica es el mercado de coches usados. Por ejemplo, los vendedores de automóviles usados pueden saber si un auto usado se ha utilizado como vehículo de entrega o en taxi, información que puede no estar disponible por los compradores. Normalmente es el vendedor el que sabe más sobre el producto, pero este no es siempre el caso.

Con carácter general, en materia de transporte la asimetría de la información, se produce cuando una de las partes que firma un contrato para llevar a cabo la construcción o gestión de una infraestructura (contrato), el agente, está más informada que la otra sobre alguno de los aspectos del contrato.

También en transporte, la economía de la información analiza fundamentalmente dos problemas básicos en los que existen asimetrías de información. Tomando prestada la terminología de la teoría de los seguros, los llamaremos problemas de riesgo moral y selección adversa. Un problema de riesgo moral se presenta cuando la acción del agente no es verificable. En las relaciones con riesgo moral los participantes disponen de la misma información en el momento de establecer la relación.

La información asimétrica se deriva del hecho de que, una vez firmado el contrato, el principal no puede observar (o no puede verificar) la acción (o el esfuerzo) que el agente realiza, o no la puede controlar perfectamente. La forma más extendida de

modelizar este tipo de situación es suponiendo que el esfuerzo del agente, que se realiza una vez firmado el contrato, no es verificable, y en consecuencia esta variable no puede ser incluida en el contrato. Por lo tanto, el pago del agente no puede depender del esfuerzo que incorpora y para el que se le ha contratado.

Los contratos han de ser diseñados de tal forma que, aunque el esfuerzo no entre a formar parte de los mismos, se dé al agente los incentivos necesarios para que voluntariamente realice el esfuerzo deseado. Se plantea una situación con selección adversa cuando el agente dispone de información privada antes del inicio de la relación. En este caso, el principal puede verificar el comportamiento del agente dentro de la relación; sin embargo, la decisión óptima o el coste de esta depende del tipo del agente o de ciertas características de la producción que el agente es el único que conoce exactamente. (Socorro, 2009).

No obstante, si se dispone de abundante información en el presente sobre un hecho futuro, se permitirá aumentar la eficiencia en un mercado. Sin embargo, en la mayoría de los casos, por ejemplo, en el transporte, es difícil determinar con precisión cuál va a ser la evolución de los costes e ingresos, cómo van a afectar determinadas actuaciones a la demanda, al medio ambiente, etc.

4) Necesidad de control de la calidad y los costes.

En primer lugar, cabe aproximarse al problema del transporte urbano público desde dos perspectivas complementarias: de una parte, la derivada de la eficiencia y economicidad de la gestión -pública o privada- de las compañías concesionarias de los servicios; y de la otra, la relativa al sistema de financiación -público o privado- de los mismos.

Tanto si se trata de concesionarias privadas, no interesadas en asumir pérdidas, como si se trata de empresas públicas, es necesario establecer mecanismos para financiar dichos costes de forma que se garantice la transparencia y eficiencia del sistema. Por ello, es preciso desarrollar sistemas para el cálculo, análisis y control de costes en un proyecto

de transporte que permitan un conocimiento preciso y riguroso de los mecanismos de formación de precios internos, herramienta básica desde el punto de vista, por un lado, de la eficiencia y economicidad de la gestión, tanto pública como privada y, por otro, del sistema de financiación, pública o privada. La medida y el control de los costes en materia de infraestructuras y transportes resulta imprescindible para alcanzar estándares de eficiencia necesarios para la correcta prestación del servicio público y para facilitar a las concesionarias la oferta de un servicio competitivo. (Carrasco et al., 2011).

Por otra parte, por lo que al control de costes en el transporte público respecta, la tarificación, por el coste marginal como máximo, tiene por objeto fomentar el uso del transporte público frente al privado, evitando la congestión, e incluso, sirviendo como medio de redistribución de renta, pero puede tener también efectos perniciosos, ya que es posible que se reduzcan los incentivos de las empresas que ven mermadas sus expectativas de beneficio. El problema se agrava si, además, se trata de una industria con costes fijos altos.

Por otro lado, a pesar de su importancia, en materia de transporte los costes sociales, sea cual sea su naturaleza, no suelen contabilizarse en el momento de tomar decisiones de implementación de políticas públicas, o de inversiones en infraestructuras. La razón fundamental es la inexistencia de métodos asequibles y fiables de cuantificación de estos costes, y la imposibilidad de internalizarlos total o parcialmente, es decir, localizar el agente que debe sufragarlos.

Estos costes en inversión de transporte público, son soportados por la colectividad en forma de incomodidades o pérdidas de bienestar, mediante un mayor pago de impuestos, o en ocasiones, mediante la traslación a las generaciones venideras.

Sin embargo, independientemente de quién los sufrague, los costes sociales en este tipo de proyectos representan un consumo de recursos y su valoración resulta esencial para garantizar un comportamiento eficiente de la economía en general, y de las decisiones de transporte, en particular.

2.2.Mecanismos de intervención

Consecuencia de la existencia de los fallos de mercado, el Estado suele intervenir en la economía (De la Cruz, 2002). En infraestructuras y servicios básicos, como por ejemplo, el transporte, las comunicaciones, energía o los servicios postales, su papel es considerable.

El transporte tiene una enorme relevancia y es considerado un importante soporte de la actividad económica en general. La necesidad de regulación por parte de las autoridades públicas, dando lugar a la creación de monopolios legales, ya sea bajo la forma de monopolio natural, ya sea a través de una concesión pública; la corrección de efectos no deseados para el bienestar general o el fomento de aspectos positivos para el interés público que supone la realización de actuaciones en el ámbito del sector transporte, determinan el contenido y la forma de la intervención pública en esta materia.

En ese sentido, el grado de actuación debe ser suficiente para conseguir el objetivo social perseguido y los instrumentos de regulación cuentan con la existencia de asimetrías de información entre los agentes intervinientes.

No obstante, se ha venido produciendo una desregulación y privatización de servicios, en los que el sector público ha cedido terreno al sector privado, tal es el caso de las infraestructuras, cuya construcción y mantenimiento se realiza en muchas ocasiones por agentes privados, sin perjuicio de que el sector público continúe decidiendo sobre la configuración de la red de infraestructuras públicas o conceda subvenciones. En este aspecto, no cabe duda de que la infraestructura juega un rol central en el desarrollo de los países, tanto en el ámbito económico como social (Cipolleta et al., 2010).

La infraestructura básica y la provisión eficiente de servicios de infraestructura son vehículos de cohesión territorial, económica y social, porque integran y articulan el territorio, lo hacen accesible desde el exterior y permiten a sus habitantes conectarse con el entorno, además de dotarlo de servicios fundamentales para la producción y para el

mejoramiento de las condiciones y calidad de vida de las personas (Rozas y Sánchez, 2004).

Desde el punto de vista de la justificación de la intervención pública en el transporte, son múltiples los supuestos en los que una Administración puede afectar a la competencia entre los operadores de un determinado sector, y con ello puede impedir que los consumidores se beneficien de los efectos que la libre competencia puede suponer en términos de precios, calidad e innovación. (Berenger, 2009).

Adicionalmente, la privatización de determinados servicios pone de manifiesto la posibilidad del paso a manos privadas de actividades previamente prestadas por el sector público y las consecuencias y efectos que ello conlleva, como señalan Birdsall y Nellis (2002) en su trabajo: *“Winners and Losers: Assessing the Distributional Impact of Privatization”*. Incluso, los contratos pueden otorgar una mayor protección para los usuarios y proveedores de las infraestructuras (Gómez-Ibáñez, 2004).

En ese sentido, el agente regulador debe intentar fijar un precio que no sea superior al coste de oportunidad, ya que de otra manera los usuarios no utilizarían la infraestructura, ni tampoco inferior al coste de oportunidad, puesto que, en este caso, se producirían ineficiencias en el sistema. La normativa tiene que ser muy clara: las instituciones de regulación deben ser independientes de las empresas y del Gobierno, por razones obvias.

La realidad misma de la economía demuestra cómo la privatización de servicios y actividades y la consiguiente reducción de la presencia directa del Estado ha tenido que ir acompañada de la utilización de mecanismos regulatorios dirigidos, precisamente, “a garantizar el funcionamiento del mercado y de la competencia en los sectores privatizados o liberalizados” El organismo regulador debe ser técnicamente solvente, con autonomía financiera y objetivos bien definidos. Si el marco regulador está diseñado de manera óptima y el Poder Judicial funciona razonablemente bien, la

participación privada en las infraestructuras aumentará el bienestar social (De Rus, 2007).

A mayor abundamiento, en el mercado de transporte debe realizarse una defensa de la libertad de elección del usuario y de la competencia entre empresas y modalidades de transporte (Campos y De Rus, 2002).

A pesar de ello, se está cambiando el énfasis hacia los problemas de congestión o la seguridad. No obstante, existen diversos procesos que permiten la participación del sector privado en el sistema de provisión de infraestructuras públicas a través de un modelo concesional y la atracción de recursos de capital al mismo (Maté, 2005).

Desde el punto de vista exclusivo de los transportes, el principal objetivo económico sería armonizar las condiciones de competencia, evitando las distorsiones del mercado de transporte, que debido a su carácter de imperfección podría conducir a una asignación no óptima de los recursos, así como evitar los déficits encubiertos por infraestructuras y tecnologías obsoletas de ciertos modos de transporte (Esteras González, 1994).

La intervención pública en el sector del transporte presenta distintos niveles. En este apartado se analizarán los diferentes estadios desde la perspectiva de la competencia en el mercado, esto es, cada nivel de participación pública implica diversos mercados de transporte o instrumentos de intervención y dentro de ellos, una regulación, gestión y financiación diferentes.

En la siguiente tabla se muestran los instrumentos o mercados de mayor a menor grado de actuación pública:

Tabla 2.1. Grados de intervención pública: Mercados de transporte desde una perspectiva de competencia				
Grados de Intervención Pública	Máxima	Media/Alta	Media/Baja	Mínima
Mercados de Transporte (Instrumentos de Intervención)	Monopolio Público	Mercado con competencia entre operadores y provisión pública de infraestructuras y servicios	Monopolio privado regulado: Concesión Pública	Mercado con provisión privada de infraestructuras y servicios
Operadores en el Mercado	Una Empresa Pública	Varias Empresas Públicas y/o Privadas	Una Empresa Privada	Una Empresa Privada
Regulación del Mercado⁹	Derecho Público	Derecho Público	Derecho Público/Privado ¹⁰	Derecho Privado hasta reversión de la infraestructura
Modo de Gestión del Mercado	Directa	Indirecta	Indirecta	Indirecta
Formas de Financiación del Mercado	Pública	Mixta	Mixta	Privada

Fuente: Elaboración propia

⁹ A grandes rasgos, la diferencia entre el Derecho Público y el Derecho Privado estriba en que mientras que en el primero se sitúan las normas que presiden las relaciones de los ciudadanos con los poderes públicos y de los poderes públicos entre sí, el Derecho Privado se ocupa preferentemente de las relaciones entre particulares.

¹⁰ El contrato de concesión es una institución eminentemente de derecho público, sin perjuicio, de que pueda acudir a normativa técnica que pueda tener un carácter más o menos privado, por ejemplo, normativa de algún Colegio Profesional, etc.

a) Monopolio Público

Constituye el mayor grado de intervención de un gobierno en la industria del transporte, ya que éste se encarga completamente de la provisión del servicio a través de una empresa pública. De esta forma, se asegura que la empresa pública aplique los criterios de inversión y tarificación que se consideren óptimos socialmente. Asimismo, el gobierno dispondrá de información sobre los costes y la demanda de servicios. Si la empresa pública que opera los servicios de transporte cuenta también con la propiedad de la infraestructura, creando una estructura verticalmente integrada, se alcanzaría el nivel máximo de intervención sobre el diseño de la red de transporte y la determinación de los servicios a ofertar. Ejemplo de este modelo son los servicios de ferrocarril que tradicionalmente se adoptaron en muchos países europeos. En este modelo, la fijación óptima de tarifas, desde un punto de vista social, lleva normalmente aparejada la necesidad del pago de subvenciones a la empresa pública por parte del gobierno. Esto se debe a que la fijación de tarifas iguales o inferiores al coste marginal de producción no siempre permite la recuperación de los costes asociados a la infraestructura, cuando ésta posee un componente muy elevado de costes fijos en relación a los costes variables.

Este modelo de organización permite explotar economías de escala si las hubiera, ahorrar tiempo a los usuarios y contar con información perfecta para establecer las tarifas. Sin embargo, por diversos motivos, el tamaño de la infraestructura puede ser excesivo o, dado que la retribución del gerente de la empresa pública no suele estar vinculada al beneficio que reporta la infraestructura, no haber incentivos para reducir costes. El análisis del monopolio natural y la justificación de la regulación es importante desde el punto de vista de sus principios básicos, destacar así a Berg y Tschirhart (1988), así como Carlton y Perloff (2004).

Las características de monopolio público de algunas infraestructuras de transporte y su configuración en red, el tratamiento de las externalidades y las obligaciones de servicio público justifican en principio la regulación, pero, al mismo tiempo, exige que se

distinga de manera nítida entre la intervención del Estado dirigida a maximizar el bienestar social, de aquella otra intervención que se deriva de la captura de las agencias públicas por grupos de interés. Asimismo, la intervención pública guiada por el interés general, debe basarse en la existencia de asimetrías de información y conflictos de intereses y, por tanto, en la introducción de regulación basada en incentivos. (De Rus et al , 2003)

Por otro lado, la regulación está enmarcada en el derecho público en la medida que el monopolio natural se ha creado para la prestación de un servicio público o al menos destinado a un sector de la sociedad. La gestión es directa ya que es la propia Administración, a través de la creación de un organismo *ad hoc* (monopolista) la que la lleva a cabo. En cuanto a la financiación también sería pública de modo que los gastos asociados al monopolio público se sufragarían, bien con subvenciones públicas, impuestos, etc.

b) Mercado con competencia entre operadores y provisión pública de infraestructuras y servicios

A diferencia del monopolio público, en este mercado de transporte existe competencia ya que pueden actuar varios operadores pero la infraestructura sigue siendo pública. La posibilidad de que haya competencia entre los usuarios la infraestructura, relaja en cierta medida el alto grado de actuación del sector público del caso anterior, si bien sigue contando con la propiedad de la infraestructura. De manera que el monopolio público se puede transformar en un modelo de cesión de derechos de utilización de una infraestructura de propiedad pública a varios operadores. Esta forma de organización es más útil si el número de empresas es lo suficientemente elevado, ya que, como consecuencia de la competencia entre las empresas, los problemas de información del gobierno o de las instituciones para determinar las tarifas óptimas pueden, en principio, resolverse. (De Rus et al., 2003).

Como se ha comentado, el sector público sigue manteniendo la infraestructura y se hace cargo de los trabajos de mantenimiento y posibles ampliaciones. A cambio, puede exigirse a las empresas proveedoras de los servicios algún pago en concepto de uso de la infraestructura. Un ejemplo de este tipo de modelo se puede encontrar en los puertos de muchos países, donde el sector público realiza las inversiones y las empresas explotan la actividad comercial, así como también en el transporte aéreo. A diferencia del caso anterior, la gestión es indirecta y la financiación mixta.

c) Monopolio privado regulado: Concesión Pública

En la concesión pública se produce una competencia previa *por* mercado entre los licitadores que deciden presentarse a la oferta de este tipo de contrato. Sin embargo, una vez adjudicado, sólo una empresa operaría en esta modalidad quedándose bajo la forma de un monopolio regulado. Si bien el contrato de concesión pública se tratará con mayor profundidad en próximo apartado, señalar que, en cuanto a la regulación, se basa en el Derecho Público y para cuestiones de tipo más técnico acude en algunos casos al Derecho Privado. Por el contrario, la Administración cede la gestión de la infraestructura a varias empresas privadas. Respecto a la financiación es mixta, ya que el coste de la infraestructura y su mantenimiento es público, pero la explotación comercial de la misma se realiza por el privado al que la Administración puede cobrarle un canon por el uso de la infraestructura.

d) Mercado con provisión privada de infraestructuras y servicios

En la provisión privada de infraestructuras y servicios, se podrían encuadrar los contratos de concesión con obligaciones de inversión. Consiste en un modelo de cesión de una infraestructura a una empresa privada con exclusividad para su explotación. Esta forma de organización permite abrir a la iniciativa privada el diseño y la financiación de infraestructuras cuando el sector público dispone de recursos muy limitados (De Rus et al., 2003). Al igual que en los monopolios privados regulados, se realiza una

competencia por el mercado en la selección de la empresa que vaya a construir y explotar la infraestructura.

Este sistema sería el extremo opuesto al monopolio público, puesto que, tanto la infraestructura como la provisión del servicio, son privadas. Respecto a la regulación está basada en el Derecho privado, sin perjuicio de que se trata de prestar un servicio dirigido a los ciudadanos y que en el momento de reversión la infraestructura pasa a manos del sector público, la gestión es indirecta y la financiación es privada, de manera que se cobra al usuario un peaje o un canon por el operador privado.

2.3. Asociaciones público privadas

En los últimos años, las public private partnership (PPP) o asociaciones público privadas (APP) han venido cobrando protagonismo como instrumento para construir infraestructuras públicas. En particular, la fórmula de las PPP ha permitido el desarrollo con éxito de proyectos de transporte, como por ejemplo, en puertos, aeropuertos o autopistas (Estache et al., 2007).

Desde el punto de vista de la teoría económica esta fórmula puede relacionarse con la *public choice theory* y con el concepto de *rent seeking* en la medida en que la búsqueda de rentas hace referencia al proceso en que un agente pretende que el poder público le otorgue un poder de monopolio eliminando la participación de otros operadores, por ejemplo, a través de una asociación público privada mediante un contrato de concesión.

A diferencia de los tradicionales métodos de contratación que suponen un mayor apalancamiento de los limitados recursos públicos, las PPP implican que la inversión es financiada por el agente privado. Entre los motivos principales por los que se ha acudido a esta fórmula es la supuesta mejora de la eficiencia en el proceso de toma de decisiones y en la prestación de servicios, o la mayor equidad intergeneracional en

materia de financiación de obras públicas. En ese sentido, distintos trabajos se han ocupado de analizar las ventajas e inconvenientes de las PPP (Hoppe & Schmitz, 2013).

Desde el punto de vista de los costes, las PPP permiten al sector público cumplir con las restricciones presupuestarias, crear economías de escala y servirse de financiación privada para la realización de costosos proyectos sin efecto directo sobre el presupuesto público de préstamos y deudas o, incluso, pudiendo llegar a ser una fuente de ingresos presupuestaria.

Para el sector privado la principal ventaja de las PPP son las nuevas oportunidades de negocio con grandes beneficios potenciales, especialmente en los proyectos de gran magnitud.

Para el ciudadano, la prestación de servicios o realización de actividades e infraestructuras por las PPP puede asegurar el suministro de servicios que no puede proveer el sector público por sí solo, incluso, en menos tiempo y con mejor calidad.

Factores como una demanda estable o fácilmente predecible o la calidad de la infraestructura aumentan los efectos positivos de las PPP (Iossa, & Martimort, 2015). A mayor abundamiento, con las PPP se pueden obtener mejoras de eficiencia si se diseña de manera adecuada un proyecto y se reduce la incertidumbre mediante la experiencia en el sector (Iossa, & Martimort, 2012).

Si bien no son nada desdeñables las ventajas apuntadas, conviene no olvidar que la existencia de asimetrías de información entre el sector público y privado en la determinación del coste real del servicio puede desembocar en una elección del sector público no óptima (Auriol & Picard, 2009), así en el marco de las PPP, en su caso, la extensa duración de los contratos puede ocasionar cierta inflexibilidad (Ross & Yan, 2013). Tampoco debe olvidarse que el objetivo último es la búsqueda del bienestar social y que, por tanto, ese carácter público que subyace en última instancia debe considerar que la propiedad de la infraestructura de ha de estar alineada con los objetivos del desarrollo de la misma (Estache et al., 2009), de esta forma han de conjugarse ambos sectores, el público y el privado.

Para evitar estos inconvenientes, las PPP pueden ofrecer al sector público una mejor relación calidad-precio respecto de las formas tradicionales de provisión de servicios, suministrar servicios que de otro modo no se ofrecerían por el sector público y en el caso en que el operador privado asuma el riesgo de sobrecoste de la inversión y el retraso de inicio de la actividad, la celeridad en el proceso de construcción sería un punto a favor de las PPP.

Asimismo, es necesario advertir de los posibles riesgos de la iniciativa privada en obras públicas, a saber, los procesos de privatización se han saldado con éxito desigual, poniendo de manifiesto que los distintos agentes sociales persiguen objetivos que pueden ser diferentes; el monopolio de los operadores privados puede crear un alto riesgo de explotación de los usuarios (y de los contribuyentes); y, además, la participación privada no ha evitado tampoco la construcción de megaproyectos de dudosa rentabilidad social. En este punto, resulta esencial el modo en que se realiza la distribución de riesgos entre el sector público privado y, en particular, los riesgos asociados a la construcción, el riesgo de disponibilidad del servicio o de la infraestructura y el riesgo de demanda (variabilidad de demanda, sin estar relacionada con una deficiente prestación del servicio por el operador privado), tal y como los clasifica Eurostat (EPEC, 2010). En base al SEC 2010, se considera que el riesgo se asume en su mayoría por el sector privado cuando se le transfiere el riesgo de construcción y el de disponibilidad o el de demanda. En ese sentido, la transferencia de riesgos se convierte en un factor importante en el diseño de las PPP, de forma que el riesgo debe ser asumido por la parte que mejor pueda gestionarlo (Ridolfi, 2004).

En consecuencia, la privatización no aumenta necesariamente el bienestar social; de igual manera, un contrato de concesión puede estar diseñado en beneficio de los usuarios y contribuyentes o en el de los operadores privados. Para que sirva al interés general, la iniciativa privada no debe recibir más garantías que las imprescindibles (De Rus, 2007). En cualquier caso, el dilema sobre la elección de las PPP o los contratos tradicionales siempre está presente a la hora de construir una infraestructura de transporte. La elección óptima entre PPP o contratación tradicional depende de varios

factores, entre otros, el poder de negociación del gobierno o si el objetivo del Gobierno es maximizar el “value for money” o el excedente social (Ross & Yan, 2013).

2.4. Concesiones públicas

En primer lugar, la concesión pública se ha convertido en los últimos años en un instrumento muy utilizado para la construcción de proyectos de transporte e infraestructuras tanto en nuestro país como a nivel europeo. En concreto y, por lo que a esta tesis doctoral se refiere, las líneas de metro ligero de la Comunidad de Madrid que serán objeto de estudio los próximos capítulos, han sido construidas y puestas en funcionamiento mediante el régimen concesional. De ahí la razón por la que se desarrolla a continuación un análisis teórico de la concesión pública.

El sistema concesional cuenta con una trayectoria histórica que se inicia en la Alta Edad Media con la concesión de dominio público, a través de la institución de las regalías y las concesiones perpetuas de tierras que producían una división entre el señor, que actuaba como concedente conservando el dominio directo y el vasallo, que era el poseedor a quien se cedía el dominio útil de la tierra, hasta lo que entendemos en nuestros días como concesión. Su regulación es también prolija y tiene su antecedente en un Real Decreto de 1845 que recogía la modalidad de contrato de concesión de obras públicas bajo la denominación de “obras por empresa”. En ese marco jurídico es en el que en España se establece el concepto de concesión. El Real Decreto Legislativo 3/2011, de 14 de noviembre, por el que se aprueba el texto refundido de la Ley de Contratos del Sector Público, en cuyo artículo 7 define el contrato de concesión de obras públicas de la siguiente manera:

“ 1. La concesión de obras públicas es un contrato que tiene por objeto la realización por el concesionario de algunas de las prestaciones a que se refiere el artículo 6, incluidas las de restauración y reparación de construcciones existentes, así como la conservación y mantenimiento de los elementos construidos, y en el que la

contraprestación a favor de aquél consiste, o bien únicamente en el derecho a explotar la obra, o bien en dicho derecho acompañado del de percibir un precio.

2. El contrato, que se ejecutará en todo caso a riesgo y ventura del contratista, podrá comprender, además, el siguiente contenido:

La adecuación, reforma y modernización de la obra para adaptarla a las características técnicas y funcionales requeridas para la correcta prestación de los servicios o la realización de las actividades económicas a las que sirve de soporte material.

Las actuaciones de reposición y gran reparación que sean exigibles en relación con los elementos que ha de reunir cada una de las obras para mantenerse apta a fin de que los servicios y actividades a los que aquéllas sirven puedan ser desarrollados adecuadamente de acuerdo con las exigencias económicas y las demandas sociales.

3. El contrato de concesión de obras públicas podrá también prever que el concesionario esté obligado a proyectar, ejecutar, conservar, reponer y reparar aquellas obras que sean accesorias o estén vinculadas con la principal y que sean necesarias para que ésta cumpla la finalidad determinante de su construcción y que permitan su mejor funcionamiento y explotación, así como a efectuar las actuaciones ambientales relacionadas con las mismas que en ellos se prevean. En el supuesto de que las obras vinculadas o accesorias puedan ser objeto de explotación o aprovechamiento económico, éstos corresponderán al concesionario conjuntamente con la explotación de la obra principal, en la forma determinada por los pliegos respectivos”.

El modelo concesional es una forma de regulación (Guasch, 2004) que tiende a alcanzar los mismos objetivos que las privatizaciones, tales como asegurar el desarrollo de actuaciones, la operación y administración profesional del sector y las inversiones, mediante la participación privada. Sin embargo, se diferencian de ellas en que las concesiones no incluyen la venta o transferencia de la titularidad de los activos físicos, sino sólo su derecho de uso así como de funcionamiento. El contrato de concesión es uno de los mecanismos que tiene el Estado en la cual se acude a actores privados para desarrollar tareas específicas como la ejecución de proyectos y obras especializadas

requeridas para su desarrollo, encargándose el Estado de su vigilancia y control (Martínez, 2013).

Como principales características de las concesiones podemos destacar que tienen una duración limitada y la Administración ejerce un mayor control. En las concesiones el valor del flujo de fondos es incierto porque va a depender de las variaciones de la demanda y de las tarifas, así como de la posibilidad de terminación anticipada por parte de la Administración. El contrato de concesión como elemento jurídico puede facilitar la aportación de capital hacia los países menos desarrollados, así como la transferencia de tecnología entre países. (Gutiérrez de Vera, 2008).

De lo anterior, se desprenden dos principios básicos en un contrato de concesión de obras públicas, por un lado, el principio de riesgo y ventura en la ejecución de las obras y, por otro, el de mantenimiento del equilibrio económico del contrato. El primer principio mencionado hace referencia al riesgo concesional que es asumido por el concesionario (la infraestructura figura en su balance), salvo la parte a cuenta de la Administración, en cuyo caso se regula por lo previsto en el contrato de obras. La transferencia de los riesgos al contratista va más allá de la fase de ejecución. En la fase de explotación destinada a obtener los ingresos que compensen la inversión realizada y proporcionen el beneficio correspondiente este principio es igualmente aplicado. Se pueden advertir distintos tipos de riesgos asumidos por el concesionario, el de “sobrecoste” en la ejecución de la obra, si es mayor al previsto y el de “puesta a disposición de la obra”, ya que un retraso en su ejecución suele implicar una pérdida de ingresos para el concesionario. En cuanto a la fase de explotación, el concesionario puede asumir un riesgo de demanda si fuese menor a la prevista, o un riesgo de disponibilidad (por ejemplo, en la explotación, tras la construcción de un metro ligero, una huelga de maquinistas o una avería de los trenes). Señalar también el riesgo financiero, en el caso en que el coste financiero sea mayor al estimado, sin perjuicio de la concesión de subvenciones públicas. No obstante lo anterior, la Administración también puede asumir riesgos, por fuerza mayor, consecuencia de catástrofes o calamidad pública, o para mantener el equilibrio económico de la concesión, principio

ya mencionado. Si la Administración modifica las condiciones del contrato, siempre y cuando venga previsto en la normativa, se debe producir el reequilibrio, ya sea con tarifas más altas o con nuevos pagos, ya sea aumentando el plazo concesional. No obstante, se debe recordar que el concesionario es el responsable del proyecto de transporte, quiere saber lo que sucede, de esa manera poder gestionar los sucesos y planificar de la mejor manera posible con el menor coste (García, 2014).

El contrato de concesión de obra pública permite crear externalidades positivas en un contexto en el que el sector público desea satisfacer las necesidades del ciudadano y primar el interés público. El efecto externo positivo de un agente derivado de la existencia de un contrato de concesión de obra pública otorga un sentido propio de la actuación del sector público en el marco del contrato de concesión, contribuyendo así a aumentar el bienestar social. Por ejemplo, la utilización del transporte público para reducir la congestión de vehículos. Los productores o consumidores la perciben parcialmente, por lo que suele producirse en defecto. En este caso, la intervención pública se articula a través de la provisión gratuita o subvencionada de determinados bienes, servicios o actividades, fomento del transporte público, etc. En el caso que nos ocupa, la Administración puede acudir, en el marco de la concesión pública, por establecer un sistema subvencionado, con precios sombra o un canon.

El sistema concesional puede paliar o al menos atenuar una externalidad negativa, disminuyendo la acción llevada a cabo por uno o varios individuos que provoque una reducción del bienestar de otros, por ejemplo, un grupo de personas que contaminan el aire por el empleo diario de su coche. Estos individuos no van a soportar todo el efecto negativo que ocasionan, por lo que se va a producir en exceso. En este caso, el sector público puede sacar a un contrato de concesión con el fin de que el privado seleccionado construya una red de metro ligero, coadyuvando a una menor contaminación en la zona.

Los contratos de concesión constituyen también un modelo de competencia indirecta o *por el mercado*, la renovación periódica de los contratos de concesión proporciona a las

empresas concesionarias los incentivos necesarios para ser eficientes en costes evitando las ineficiencias que pueden presentar los monopolios públicos ante la falta de estímulos. Si la empresa concesionaria no fuera eficiente supondría que los usuarios tendrían que pagar tarifas mayores que las que deberían, por lo que en la próxima renovación la concesión se podría otorgar a otra empresa que lo hiciera de manera más eficiente. La falta de recursos de las Administraciones Públicas para financiar la provisión de bienes y la prestación de servicios considerados tradicionalmente como públicos ha llevado a que en los últimos años los distintos gobiernos hayan hecho un esfuerzo importante por incorporar la participación de la iniciativa privada en su financiación y gestión. Dentro de las fórmulas existentes para incorporar la iniciativa privada, el modelo concesional ha sido una de las herramientas utilizadas con mayor frecuencia, ya que permite una mayor transmisión de responsabilidad mediante una cesión al sector privado de los activos y de la gestión de los servicios anexos ligados a los mismos – exceptuando en algunos casos, su titularidad que sigue en manos de las Administraciones Públicas– (Izquierdo y Vasallo, 2002).

La introducción de competencia contribuye a solucionar los problemas de información asimétrica a la hora de fijar las tarifas por el agente público regulador. En ese sentido, el monopolio privado reglado, que consiste en un sistema integrado de redes en el que interviene un regulador público que busca satisfacer el interés general, introduce la mano privada en la realización y explotación de las obras públicas para reducir los costes operativos, técnicamente ineficientes (De Rus et al., 2003).

Dentro de este contexto, cobra relevancia el control de la selección adversa en la etapa precontractual, y el del riesgo moral y los riesgos exógenos en la etapa contractual (Salamanca, 2005). La regulación por contrato, como es el caso de los contratos de concesión en áreas de servicio exclusivo para la prestación de determinadas actividades públicas, cobra relevancia para controlar el riesgo de la selección adversa y el riesgo moral que se pueden presentar en este tipo de monopolios naturales, pero en ningún momento, el sector público debe dejar a un lado la rentabilidad social.

Por otro lado, desde el punto de vista de las normas de contabilidad nacional, el elemento clave para determinar la influencia que la concesión de una obra pública puede tener en el déficit público viene dado por el hecho de que la misma quede en el balance de la Administración o en el balance del concesionario. Con arreglo a los criterios del Sistema Europeo de Cuentas (SEC-95), los activos resultantes de las obras realizadas permanecen en el balance del concesionario, siempre que se produzca de forma efectiva la transferencia al concesionario de los riesgos derivados de la propiedad de los activos (López et al., 2006).

No obstante anterior, y es donde radica el peligro comprometer los recursos públicos en proyecto de alto coste, a pesar de utilizar el sistema de la concesión, las Administraciones deben aprender a licitar concesiones en condiciones viables, en otro caso, la renegociación se hace inevitable y los contratos pueden no prever esta situación (Sastre, 2009). Este factor sido un motivo básico para la elaboración de esta tesis doctoral analizando las concesiones de proyectos cuya viabilidad se ha cuestionado a pesar de haber acudido a un sistema concesional, como son las líneas de metro ligero de la Comunidad de Madrid.

Respecto de los tipos de sistemas concesionales: el sistema concesional de plazo fijo y el de plazo variable (De Rus, 2004), indicar que:

El modelo concesional de plazo fijo persigue seleccionar al concesionario más eficiente y maximizar el beneficio social. Se podría suponer que los concesionarios pujan con su precio de reserva (lo máximo que están dispuestos a dar, es decir, que se suponen beneficios normales). Sin embargo, vamos a suponer que puede haber beneficios extraordinarios o pérdidas, pero como hay competencia, el concesionario ganador es aquel que fija la tarifa más baja compatible con sus costes, una vez fijado el período de duración de la concesión (T), es decir, ofrecerá un precio para obtener beneficios normales. Además, los participantes ofrecen la misma calidad y la información no es perfecta, por ejemplo, no se conocen los costes de las empresas rivales.

Existen diversas modalidades: fijar precio y plazo, de manera que los licitantes ofrezcan un canon máximo de valor igual a sus beneficios esperados durante la vida de la concesión o fijar el precio, de forma que el licitante ganador es aquel que ofrezca el plazo menor, etc.

Los inconvenientes que presenta el sistema concesional fijo se pueden resumir en los siguientes:

1) Incertidumbre de demanda, es por eso por lo que se suelen establecer cláusulas de garantía de precios mínimos o renegociaciones del contrato durante la concesión. El efecto económico es una disminución del beneficio social estimado en el análisis coste-beneficio ex ante de la infraestructura y se corre el riesgo de que el ente regulador otorgue la concesión al licitante más optimista en la predicción de demanda, que no tiene por qué ser el más eficiente.

2) Problemas de información (asimétrica) por el lado de los costes, ya que el licitante puede conocer sus costes, pero no el regulador.

3) Altos costes, vida prolongada y especificidad de los activos.

En cuanto al sistema concesional de plazo variable, vamos a suponer que el regulador (gobierno) fija la tarifa, el nivel de calidad y la tasa de descuento y los licitantes hacen una oferta sobre los ingresos que desean percibir durante la vida de la concesión, así se eliminan los beneficios extraordinarios o pérdidas derivados de la incertidumbre sobre la demanda. Las empresas participantes para llevarse la concesión ajustarán unos ingresos al mínimo compatibles con su estructura de costes para presentarlos en la oferta.

En el gráfico 1 representamos el equilibrio financiero de un concesionario. En el eje de ordenadas se representan los ingresos ($P \cdot Q \cdot T$) y los costes ($I + M \cdot T$) siendo I los costes de construcción, M los de mantenimiento y operación (anuales e independientes

del número de usuarios), Q: número de usuarios, T: período de vida de la concesión y P: precio ofrecido. En el eje de abscisas el factor tiempo.

En el caso del sistema de concesión fijo, el equilibrio financiero del concesionario se producirá en aquel punto en el que los ingresos sean igual a los costes, es decir, el punto E para un período de tiempo T^* . Sin embargo, al existir incertidumbre de demanda, el concesionario puede encontrarse en el intervalo comprendido entre B y C, que abarcan las diferentes estructuras de ingresos dependiendo de cuál sea la demanda. Concretamente, en el gráfico 1 se han representado los ingresos con demanda Q_b (recta $P \cdot Q_b \cdot T$) y con demanda Q_c (recta $P \cdot Q_c \cdot T$).

Para llegar de nuevo al equilibrio financiero (E) desde los puntos B o C se necesita una renegociación del contrato una vez adjudicado, de manera que si la demanda es Q_c se producirá un desplazamiento de la recta de ingresos con demanda Q_c hacia arriba hasta cortar en el punto E, se autoriza un precio más alto en la concesión para alcanzar el equilibrio financiero.

De la misma forma, si la demanda es Q_b se da un movimiento de la recta de ingresos con demanda Q_b hacia abajo hasta conseguir el equilibrio financiero, estableciendo un precio más bajo.

Según el gráfico 1, el sistema concesional variable se da en los puntos A y D. El efecto de introducir este sistema, en el que el plazo no es fijo, hace variar el tiempo de duración de la concesión para mantener el equilibrio financiero y solventar el problema de la incertidumbre de demanda.

En el punto A existe equilibrio financiero con la estructura de ingresos con demanda Q_b con un plazo menor que en el sistema concesional fijo, ya que se recuperan antes los costes. En el punto D también hay equilibrio financiero, pero con un plazo mayor que con un sistema concesional fijo, porque los costes se recuperan más lentamente.

Un ejemplo en nuestro país de sistema concesional de plazo variable, fue el escogido por el Gobierno de Aragón como fórmula para el contrato de construcción y operación de la autopista Cariñena-Gallur, en el que las ofertas de los licitadores se desligan de sus creencias sobre cuál será la demanda futura. Sus principales ventajas consisten en mejorar la selección del concesionario, reducir costes, independizar al concesionario de los intereses a corto plazo del Gobierno y permitir el equilibrio financiero de la empresa sin recurrir a renegociaciones. Sin embargo, el sistema de concesión mediante el que las empresas privadas construyen, conservan y operan carreteras de peaje presenta debilidades importantes. La imposibilidad de predecir el tráfico para periodos superiores a los treinta años contamina la selección del concesionario, al ser imposible distinguir entre eficiencia y optimismo sobre el tráfico futuro. (De Rus, 2003).

En definitiva, respecto del sistema de concesión, lo más destacable es que la empresa que consigue un contrato de cesión se compromete a acometer obras construcción o mejora de la infraestructura, asumiendo los costes de las inversiones y/o de operación y mantenimiento. La recuperación de estos costes se realiza durante la vida de la concesión, que suele ser larga. En algunos casos, se trata de infraestructura de nueva construcción, por lo que las empresas licitan por el derecho a la construcción de la misma y a su posterior explotación hasta que finalice el contrato. Si el concesionario del transporte dispone de un proyecto más eficiente le permitirá reducir sus costes e incrementar su utilidad (Alonso, 2013). Una cuestión importante en este modelo es la propiedad de la infraestructura. Para resolver este asunto, existen distintas formas de contratos de concesión, siendo uno de los más extendidos el contrato de tipo BOT (Build-Operate-Transfer), en el cual la empresa privada es propietaria de los activos de infraestructura hasta que obtiene los ingresos que cubren los costes de la inversión realizada, más los costes financieros asociados y, a partir de ese momento, la propiedad se transfiere al sector público que de esta forma consigue la construcción de infraestructuras por parte de la iniciativa privada. Ejemplo de este tipo de modelo es la construcción de autopistas de peaje (Sastre, 2009).

2.5. Europa y España en su experiencia en concesiones en el transporte urbano: El Metro Ligero

El sector del transporte público comprende los trenes regionales y de cercanías, metro-tranvía, servicios de autobuses locales y regionales y los servicios locales de transporte de pasajeros por vías navegables.

En el marco europeo, existe una preocupación por el transporte sostenible, así lo reflejan diversos análisis de la OCDE, de ámbito europeo, como los indicadores del Transport and Environment Reporting Mechanism (TERM) de la Agencia Europea de Medio Ambiente. De todo ello destacar la importancia que se les da a los instrumentos fiscales y de regulación de precios del transporte bajo el principio de cargar en los usuarios de tales medios los costes reales que suponen para una sociedad. Esta aplicación del principio “quien contamina paga” recogido en el Artículo 174 del Título XIX Medio Ambiente del Tratado Constitutivo de la Unión Europea, es un instrumento para eliminar del mercado el “dumping” ambiental y social que supone no incluir esos costes en los precios de los diferentes medios de transporte, lo que favorece el desarrollo de tendencias insostenibles. La estrategia comunitaria se encamina, por tanto, hacia la armonización de precios y tarifas por la utilización de las infraestructuras, aplicándose unos principios similares a los costes privados y sociales.

Desde el punto de vista regulatorio, las Administraciones Públicas a nivel europeo han fomentado el desarrollo del transporte público ferroviario. Nótese que, en la UE en 2006 había unas 170 redes de tranvía para 455 millones de habitantes (Zamorano, 2006). De ellas 107 pertenecen a los 15 Estados que configuraban la UE a 1 de mayo de 2004, 30 en los nuevos 10 Estados y alrededor 30 en Bulgaria, Rumanía, Suecia, Noruega. Asimismo, en especial desde el año 2006, se han impulsado políticas y estrategias que vinculadas y complementarias al Libro Blanco de Transportes pretenden promover modelos de movilidad sostenible para las regiones metropolitanas europeas, tratando de dar respuesta a muchos de los problemas anteriormente mencionados, y apostando así por el impulso del metro ligero y la intermodalidad (Zamorano et al., 2008).

Desde la Comisión Europea se han puesto en marcha diversos procesos para la armonización del ferrocarril urbano europeo, entre ellos, se pueden destacar, el UGTMS, Urban Guided Transport Management System, para la gestión y control del tráfico de ferrocarriles urbanosLibeRTIN, el Light Rail Thematic Network, para la normalización del sistema de tranvías incluido el tramtren o el ModUrban, Modular Urban Guided Rail System para el desarrollo de una estructura común del ferrocarril urbano que cubra, entre otros, el ahorro de energía, el control del tráfico o la señalización. Adicionalmente, el proyecto TranSURban cuyo objetivo es examinar el desarrollo y la operación de diversos Sistemas Urbanos de Transporte -metros ligeros, tranvías, autobuses o trolebuses guiados- en ciudades pequeñas y medianas, a través de estrategias innovadoras hacia el desarrollo sostenible, la cohesión social y la regeneración urbana (VVAA, 2006).

En Europa, la historia de las concesiones viales se remonta a principios de los años sesenta del siglo XX, siendo en Francia, España e Italia países que les abrieron camino a los inversionistas privados. Posteriormente, se fueron sumando la mayoría de países europeos (Castro, 2014). Pero fue a principios de los años noventa en Europa cuando dos hechos significativos y no necesariamente ligados han contribuido a dar un impulso definitivo al modelo concesional generalizado (Gutiérrez y Dodero, 2007).

En Europa ha estado presente la figura del tranvía en la estructura urbana de numerosas áreas metropolitanas construido a partir de empresas públicas o mediante concesión. En un principio, los sistemas de tranvía eran comunes a través del mundo industrializado en los siglos de fines del siglo XIX y a principios de siglo XX, pero desaparecieron de muchas ciudades a mediados del siglo XX. Estos últimos años, han hecho una reaparición: más nuevos, con vagones que incorporan tecnología punta, tratando de cubrir una de las necesidades más acuciantes en las ciudades como es la reducción de los tiempos de desplazamiento.

Los primeros tranvías se implantaron el Reino Unido y, unas tres décadas más tarde, llegaron a Estados Unidos. Los tranvías se van desarrollando en diversas ciudades de

Europa (Berlín, París, etc.). Más rápido y más cómodo que el ómnibus, los tranvías impulsados con energía de vapor se comenzaron a utilizar a finales del siglo XIX. La conveniencia y la economía de la electricidad dieron lugar a su rápida implementación. Sin embargo, el advenimiento de los vehículos de motor y las mejoras en autobuses motorizados causaron la desaparición rápida del tranvía hacia el final de los años 50 del siglo XX, ya que los autobuses no requerían la construcción de una costosa infraestructura. De hecho, la infraestructura de caminos y carreteras para el automóvil fue percibida como una marca de progreso. Las redes del tranvía desaparecieron casi totalmente en Francia, Reino Unido, Irlanda y España. Por otra parte, fueron conservados o modernizados generalmente en países como Suiza, Alemania, Austria, Italia, Bélgica, Países Bajos o Portugal.

Con posterioridad, la prioridad dada a los vehículos privados y al automóvil condujo notablemente a una pérdida en la calidad de vida urbana, particularmente en las ciudades grandes, donde la congestión del tráfico, contaminación atmosférica y acústica se convirtieron en aspectos no poco problemáticos.

La desaparición del tranvía en Europa fue parcial, ya que no todos los países actuaron del mismo modo. Se configuraron dos grandes corrientes: por un lado, la mayoría de países de Europa Occidental optaron por suprimir los servicios de forma total, este es el caso de Francia, España o Reino Unido.

Por otra parte, en Europa Central y Oriental la tendencia fue distinta y siguieron modernizando o ampliando las líneas en la medida que lo permitían las economías nacionales. El país que lideró esta corriente fue Alemania (Alcalde, 2012).

Como consecuencia de ello, algunas autoridades redefinieron sus políticas de transporte. La necesidad de una rápida movilidad, en particular, en las grandes urbes, volvió a traer a colación el planteamiento de la construcción de la figura del tranvía o el metro ligero, como intento para modernizar la infraestructura del transporte urbano.

Para el tránsito rápido, la inversión en transporte se centraba, en un primer momento, principalmente en la construcción subterránea, imposible en algunas ciudades, ante la

existencia de reservas de agua subterráneas, restos arqueológicos, etc., lo que llevó a pensar que la construcción del metro, especialmente en algunas ciudades, no era una panacea universal, debiéndose buscar otras alternativas. La evolución descrita anteriormente, se muestra de forma sintética en la siguiente tabla:

Tabla 2.2. Evolución del tranvía en Europa	
Finales del siglo XIX	Auge de los tranvías con energía de vapor en Europa.
Mediados del siglo XX	Lanzamiento de los vehículos a motor y declive del tranvía en muchas ciudades europeas. Desaparición prácticamente en países como Francia, Reino Unido, Irlanda o España. Conservación en algunos países como Suiza, Alemania o Austria.
Último cuarto del siglo XX hasta la actualidad	Resurgimiento del tranvía en Europa. Empleo de nuevas tecnologías e intento de reducción de los tiempos de desplazamiento en las ciudades.

Fuente: Elaboración propia.

El resurgimiento del tranvía, al que asistimos en las ciudades europeas, no es algo meramente coyuntural, ni puede calificarse de moda pasajera. El tranvía ha vuelto esperemos que, para quedarse, esta vez de la mano de la sostenibilidad. El aumento de la conciencia ambiental entre los ciudadanos tiene implicaciones decisivas en relación con el transporte.

Alcalde (2012) pone de manifiesto la filosofía de implantación del tranvía en el entorno urbano europeo, desde la falta de prevalencia al tranvía sobre los demás métodos y por ello, solía compartir vía con el tráfico rodado, hasta la incorporación actual de nuevos tranvías adaptados a las necesidades de movilidad con un material móvil muy mejorado técnicamente. De esta forma, el nuevo despertar del tranvía en Europa depende no sólo de sus características tecnológicas, sino también de su capacidad para desempeñar un papel relevante en cuestiones relativas a diferentes contextos: urbano, urbanístico,

social, cultural, infraestructural, económico, etc. Bastaría con pensar en los posibles efectos positivos que provocaría su utilización en lo que concierne a la contaminación atmosférica y acústica, a la accesibilidad de las zonas céntricas fuertemente congestionadas, a la seguridad de la circulación viaria, etc. El tranvía se nos presenta, entonces, como un medio innovador, pero para ello su desarrollo no puede prescindir de lo que ha ocurrido desde su desmantelamiento hasta su actual recuperación, como por ejemplo, la descentralización residencial, la dilatación de las distancias debida al uso del automóvil, la renovada atención por contextos históricos, naturales y culturales especiales, la fuerte sensibilización hacia las condiciones ambientales, etc.

La introducción del tranvía, por lo tanto, no se justifica solamente por razones cuantitativas (pasajeros transportados, kilómetros de recorrido, cobertura del territorio, etc.), sino también por su papel decisivo en cuestiones de calidad de vida (recuperación de barrios, limitación de la contaminación, estructuración urbanística, etc.). De esta manera, el proyecto infraestructural puede llegar a incorporarse en el contexto en el que se realiza, con ventaja no sólo para los problemas relacionados con los desplazamientos, sino también para los más generales de la calidad de vida urbana (Andriolo y Giacomini, 1994).

Las virtudes de los tranvías modernos europeos son conocidas: silenciosos, limpios -la electricidad no contamina- y cómodos -se puede acceder a sus vagones en silla de ruedas-, además de garantizar una gran regularidad de servicio al circular por vías protegidas y permitir ver la ciudad, algo imposible para el inhóspito metro subterráneo (Martí, 2002). En definitiva, pretende resolver algunos de los fallos de mercado antes apuntados. El tranvía es una opción de transporte que nos permite enfrentar los problemas cotidianos de contaminación, cambio climático, siniestralidad y congestión permanente. También es un modo de transporte ferroviario óptimo para articular el transporte público en ciudades medias y grandes, en la medida que la demanda existente lo justifique frente a otras opciones, como el autobús, más adecuado para cantidades menores de viajeros (El Ecologista, 2010).

El metro ligero se convierte en uno de los principales instrumentos de innovación ambiental en las aglomeraciones metropolitanas, y de ahí, que sea conveniente identificar y entender dichas innovaciones, su magnitud, características, y/o como son abordadas por parte de las figuras de planificación, en especial en aquellas aglomeraciones urbanas donde el metro ligero se encuentra en proyecto, como es el caso de la región andaluza, a la vez que apoyándonos en algunas de las principales experiencias europeas (Zamorano et al., 2008).

Actualmente, en el ámbito europeo, el tranvía está presente en más de 280 ciudades europeas, circulando sobre 11.000 kilómetros de vías. En Europa el 60% de las ciudades de más de 150.000 habitantes disponen de un transporte urbano ferroviario y el tranvía forma parte del 80% de las redes de transporte urbano¹¹. En la mayoría de los casos, la financiación de la inversión es pública y la operación se realiza por una empresa privada o mixta. Tras un periodo de cierre de líneas, desde 1984 el tranvía ha tenido un crecimiento vertiginoso en toda Europa. Más de 70 ciudades han inaugurado nuevas redes de tranvía o están construyéndolas, sobre todo en Francia, y en muchos casos por el centro de la ciudad (Dublín, Munich, Frankfurt, Burdeos, Estrasburgo, Berlín, Viena, Praga, Amsterdam, Atenas, Budapest, Milán, Roma, Zurich, Lisboa, Zaragoza, Estambul, Oslo). La reintroducción del tranvía en Europa ha contado con una enorme aceptación ciudadana. En todas las ciudades donde el tranvía tiene una fuerte implantación urbana, sea por tradición o por haberse reintroducido, el uso del transporte público se ha incrementado notablemente respecto a la media de otras ciudades (El Ecologista, 2010).

Por último, a modo de ejemplo, se citan a continuación de manera sintética algunas de las experiencias de tranvías y metros ligeros en Europa, su fuente de financiación, el tipo de empresa operadora de la línea y la duración del contrato. Con carácter general, señalar que la figura de la concesión ha sido muy utilizada a nivel europeo para construir metros ligeros.

¹¹ Datos consultados de la web de ecologistas en acción. ecologistasenaccion.org.

Tabla 2.3. Algunas experiencias de tranvías o metros ligeros en Europa		
<i>Línea de tranvía o metro ligero</i>	<i>Financiación de la obra¹²</i>	<i>Gestión</i>
St. Etienne	Pública	Privada
Lille	Pública	Privada
Nantes	Pública	Mixta
Grenoble	Pública	Mixta
Rouen	BOT	BOT
París	Pública	Pública
Strasbourg	Pública	Mixta
Montpellier	Pública	Mixta
Lyon	Pública	Privada
Orléans	Pública	Mixta
Bordeaux	Pública	Privada
Estocolmo	Pública	Privada
Dublín	Pública	Privada
Manchester	BOT	BOT
Oporto	Pública	Privada
Valenciennes	Mixta	Privada

Fuente: Elaboración propia.

En cuanto a nuestro país, la dinámica del sistema español de transporte se encuentra altamente influenciada por el contexto internacional, tanto por la existencia de un marco de referencia europeo común para las políticas de transporte, como por el propio efecto de la integración europea y las tendencias económicas mundiales, que impulsan al rápido crecimiento de los flujos con el exterior. Dado que los retos internacionales exigen un sistema de transporte cada vez más integrado y eficiente para favorecer un desempeño más competitivo del país, el Ministerio de Fomento diseñó y propuso una política integral – a fines de 2004- denominada “Plan Estratégico de Infraestructuras de Transporte” (PEIT), incluyendo la planificación a desarrollar y ejecutar en el período 2005-2020. Tal Plan se compone de un amplio conjunto de políticas de transporte orientadas a optimizar el uso de las infraestructuras, integrar servicios, aumentar la

¹² BOT: contrato de tipo BOT (Build-Operate-Transfer) en el cual la empresa privada es propietaria de los activos de infraestructura hasta que obtiene los ingresos que cubren los costes de la inversión realizada, más los costes financieros asociados y, a partir de ese momento, la propiedad se transfiere al sector público que de esta forma consigue la construcción de infraestructuras por parte de la iniciativa privada.

seguridad y mejorar la eficiencia energética. Con este fin, el PEIT fija criterios y directrices y precisa la elaboración de normas, planes y programas. (Cipolleta, 2010).

La participación privada en la construcción y explotación de infraestructuras y transporte y, por ende, la financiación, ha experimentado un crecimiento importante en los últimos años en España. La gestión y explotación directa por el sector privado mediante el cobro de peajes experimentó también un importante aumento. Ambos niveles de participación del capital privado en la provisión de infraestructuras permite en cierta medida aumentar la eficiencia productiva en la oferta de estos servicios y a reducir la necesidad de financiación pública (Ferreira y Khatami, 1996). No obstante lo anterior, la decisión última de dónde y cuándo construir las infraestructuras viarias corresponde al sector público que ha de velar por el cumplimiento de las necesidades de los ciudadanos, en este caso, en materia de infraestructura y transporte.

Las inversiones de transporte mejoran las condiciones del viaje que se manifiesta, a nivel de red, en la variación de los volúmenes y patrones de tráfico, en el cambio de los tiempos de viaje, y de la accesibilidad a diferentes lugares (Cascajo, 2006). También conviene tener en cuenta que la puesta en marcha de este tipo de proyectos rara vez tiene efectos aislados, de manera que la evaluación económica de las nuevas inversiones en infraestructuras viarias no se puede realizar de forma aislada, sino que habrá que tener en cuenta también los efectos que se producen sobre la red afectada por su funcionamiento.

El transporte urbano ferroviario aporta una solución de futuro a la mayor demanda de movilidad de los ciudadanos y, a su vez, su propio desarrollo racional genera más demanda del mismo. En las medianas y grandes ciudades españolas se han llevado a cabo procesos de racionalización en la planificación de las redes de transportes urbanos mediante la integración y coordinación de los distintos modos de transporte, gracias a la constitución de consorcios y entidades de transporte de ámbito autonómico, metropolitano o municipal. El resultado de estas actuaciones en España ha sido la generación de una mayor demanda de transporte público, en especial en las redes de

cercanías, suburbanos y trenes ligeros frente al transporte rodado de superficie. Las operadoras españolas, que han acometido ambiciosos proyectos de ampliación de las redes durante la última década, han adquirido un alto nivel tecnológico y de conocimientos: elevada eficiencia de coordinación entre los períodos de concepción, ejecución y puesta en funcionamiento de los proyectos; modernización de los sistemas de control, accesibilidad, vigilancia y mantenimiento de redes; eficacia en el funcionamiento de las líneas; innovación en formas de financiación de infraestructuras, en fuentes alternativas de generación de ingresos o en la integración del suburbano como espacio público de convivencia (ICEX, 2006).

Por lo que se refiere al metro ligero en nuestro país, su construcción, ya desde el originario tranvía, ha tratado de solucionar algunos de problemas viales que fueron surgiendo a medida que crecían las concentraciones de población. En España, la intervención pública en este ámbito ha sido, con carácter general, el establecimiento de una línea de tranvía sometido al régimen concesional, es decir, requería una autorización específica dada por una autoridad competente, estatal o municipal, y por un plazo limitado, normalmente sesenta años, al cabo de los cuales la concesión revertía al Estado o al Ayuntamiento. El documento de concesión normalmente fijaba los precios máximos a aplicar en las tarifas. Según evolucionó la legislación fueron cambiando los detalles de quién, cómo y por cuánto tiempo se otorgaba la concesión. La legislación tranviaria solía ser una parte especializada de la legislación ferroviaria, mucho más general. Durante la existencia de los tranvías en Madrid, fueron frecuentes los conflictos entre empresas concesionarias, autoridades municipales y administración central (Tartajo, 2010). Las limitaciones presupuestarias y la urgencia en algunos casos por abordar determinados proyectos públicos son una de las causas por las que el régimen de concesión ha ido cobrando importancia en el territorio español al igual que en otros países.

En España, la historia de los tranvías empieza con la construcción de líneas de tranvías de tracción animal en el siglo XIX en Madrid (1871), Barcelona y Bilbao (1872),

Santander (1875), Mayagüez en Puerto Rico (1875), Valencia (1876), Zaragoza (1885), Sevilla (1887), Palma de Mallorca (1891) y Cartagena (1892). En 1879 la línea de tranvía Madrid-Leganés empieza a funcionar con tracción de vapor y en 1899 funciona la primera línea electrificada. En Barcelona se introduce la tracción por vapor en 1877 (a Sant Andreu), y la primera línea electrificada es de 1899. La primera ciudad en introducir el servicio de tranvía eléctrico fue Bilbao, con la línea Bilbao-Santurce, electrificada en 1896 y gestionada por una antecesora de la actual Transportes Colectivos. En Cartagena la primera línea electrificada comenzó a funcionar en diciembre de 1898, explotada por una compañía belga. En Valencia el vapor comienza en 1892 y se electrifica la primera línea en 1900. En Zaragoza se electrifica en 1902 la línea de Torrero y en Palma de Mallorca se electrificaron en el año 1916. La solución para volúmenes intermedios de demanda era el Tranvía. Sin embargo, desde principios del siglo XX, se vio influenciado fuertemente por la aparición de los vehículos con motor de combustión interna (coche y autobús), que se presentaban como más modernos, flexibles y compatibles entre sí. Esto provocó que, a partir de los años 30, se iniciara la sustitución de líneas de tranvía por autobuses en los países más desarrollados. Este proceso se inició en España a principios de los años 60 (Castañer, 2010).

En muchas otras ciudades (Granada, Málaga, Valladolid, ...) los tranvías fueron comunes durante gran parte del siglo XX, pero se fueron desmantelando en los años 60 y 70, aduciendo razones de entorpecimiento del tráfico por las calles de las grandes urbes. El último fue el de Zaragoza en 1975, si se exceptúan los recorridos turísticos de los del Tibidabo y Soler. Mucho después, volvieron a ser considerados e introducidos en algunas ciudades a fines del siglo XX. Los tranvías estaban sometidos en España al régimen legal de concesiones. La simple lectura del Boletín Oficial del Estado (BOE), incluso a veces en ardua búsqueda por las páginas de Anuncios Oficiales de los Ayuntamientos, nos va presentando las peripecias de unas y otras concesiones, hasta llegar a su municipalización o a su abandono (Tartajo, 2006).

En España, el primer metro ligero moderno que se construyó fue en Valencia en 1992. A Valencia siguieron Alicante (1999), Bilbao (2002), Barcelona (Trambaix y

Trambesòs en 2004), Parla (2007), metros ligeros de Madrid (2007), Sevilla (2007), Tenerife (2007), Murcia (2007), tranvía de Vélez-Málaga (2008), Vitoria (2008) y Zaragoza (2011). El sistema de concesión BOT ha sido el mayoritario si bien se ha recurrido a otras formas para conseguir inaugurar las líneas de metro ligero o tranvía en España como a continuación se expondrá.

Tanto el de Valencia como el tranvía de Bilbao y el Metrocentro de Sevilla se han realizado con gestión y financiación íntegramente públicas, pero sin embargo, la fórmula adoptada, con carácter general, en nuestro país para la elaboración de tales infraestructuras ha sido la mixta público-privada. Asimismo, en cuanto a las fórmulas de regulación con participación privada las más empleadas en España han sido las concesiones BOT y la concesión de operación, sistema por el que la Administración realiza un contrato directo, pero se pretende que no compute como déficit, por ejemplo, una empresa o ente públicos redacta el proyecto, adjudica las obras, construye la línea, adquiere los coches y el concesionario asume el coste de la infraestructura realizada por la empresa o ente público, adquiere los coches a éstos, gestiona el servicio de viajeros durante el período de tiempo que se establezca y paga un canon a la Administración pública a la que están adscritos el ente o la empresa públicos en cuestión. Las experiencias nacionales en este medio de transporte se exponen a continuación (Revista Vía Libre, 2009 y web del Tranvía de Zaragoza¹³):

Las redes de **tranvía de Barcelona, Trambaix y Trambessos** operados por una empresa privada mediante concesión BOT. El Trambaix es un tranvía que enlaza diversos municipios de la comarca del Bajo Llobregat con la ciudad de Barcelona (España). Entró en servicio el 5 de abril de 2004, después de un fin de semana en el que los ciudadanos pudieron utilizarlo de forma gratuita. El Trambaix incluye tres líneas (T1, T2 y T3). El recorrido empieza en la *Plaza Francesc Macià de Barcelona*, y recorre la Avenida Diagonal en sentido Llobregat, en un trayecto que pasa por Hospitalet de Llobregat, Esplugas de Llobregat, Cornellà de Llobregat, San Juan Despí, San Justo Desvern y San Feliú de Llobregat. Su nombre proviene de la unión de *Tram*,

¹³ Información extraída de la web del Tranvía de Zaragoza: www.tranviasdezaragoza.es.

que es el nombre comercial del producto explotado (el tranvía, en catalán, *tramvia*), y *Baix*, que parte del nombre de la comarca catalana del Bajo Llobregat (*Baix Llobregat* en catalán), comarca aparte a cuyos municipios da servicio. El **Trambesòs** (cuyo nombre de proyecto fue *Tranvía Sant Martí - Besòs*) es una red de tranvía que discurre por varios municipios del norte de la comarca del Barcelonés. Se abrió al público con la entrada en funcionamiento del primer tramo de la línea T4 el 8 de mayo de 2004. Actualmente ofrece conexión entre Barcelona, San Adrián de Besós y Badalona mediante las líneas T4 y T5. La red proyectada y en construcción incluye la puesta en marcha de la línea T6 que conectará este municipio con San Adrián de Besós sin pasar por la capital. Su nombre proviene de la unión de Tram, que es el nombre comercial del producto explotado (el tranvía, en catalán, *tramvia*), y Besòs, forma catalana del río Besós, en cuyo recorrido final se sitúan los municipios en los que da servicio la red.

El **Metro Ligero de Madrid** es el tren ligero (tranvía) instalado en la ciudad de Madrid (España) por el sistema de concesión BOT e inaugurado en 2007, formando parte de su red de Metro. Consta de tres líneas, que sumadas aportan una longitud de más 27 km. La primera de ellas (ML-1) da servicio a los nuevos barrios de Sanchinarro y Las Tablas, situados al noreste de la ciudad, en los distritos de Hortaleza y Fuencarral; mientras que las otras dos (Metro Ligero Oeste) dan servicio al barrio de Aravaca y a las localidades de Boadilla del Monte y Pozuelo de Alarcón, al oeste de la capital. La mayoría del recorrido es superficial, aunque discurren bajo tierra los tramos urbanos de Pozuelo y parte del recorrido de la **ML-1** por Sanchinarro. La estación de Colonia Jardín, cabecera de las líneas **ML-2** y **ML-3**, es subterránea también, aunque las vías salen a superficie en dirección a Boadilla y Pozuelo al acabar los andenes.

El **tranvía de Parla**, se trata de un proyecto impulsado por la Administración Local de Parla vía concesión BOT. Inaugurado el día 6 de mayo de 2007 -la Fase I- y el 8 de septiembre de 2007 -la Fase II-, puede realizarse el trayecto entre las estaciones de 'Plaza de Toros' a 'Polígono Industrial Ciudad de Parla', hasta que, en su caso, se finalicen las obras de la estación 'Parla Norte' que es la que falta por abrir, albergando un intercambiador con el ferrocarril de Cercanías. Para ello se ha realizado una línea

circular de tranvía con 15 estaciones y parada cada 500 metros aproximadamente, con una longitud total de 8,3 kilómetros (similar al existente en Montpellier). Une el centro de la ciudad con los nuevos desarrollos urbanísticos (Parla Este entre ellos) y los puntos de interés de la ciudad como la Comisaría de Policía Nacional, centros de salud y culturales, centros comerciales, etc. Dispone de correspondencia con la estación de Cercanías Madrid situada en el centro de Parla.

El **Tranvía de Tenerife** se inauguró el 2 de junio de 2007, con una primera línea que une el Intercambiador de Transportes de Santa Cruz de Tenerife con la avenida de la Trinidad de La Laguna. La empresa mixta que lo explota se llama Metropolitano de Tenerife, Sociedad Anónima (MTSA).

El **Metrocentro Sevilla** fue la primera línea de la red de Metro de Sevilla y se inauguró el 2 de abril de 2009, aunque en la fecha de inauguración sólo se puso en funcionamiento en torno al 80% del trazado con 17 de las 22 estaciones previstas, todas las restantes (salvo la estación de Guadaira) estuvieron operativas meses más tarde, en otoño de ese mismo año. Es la quinta red de este tipo de transporte en España en cuanto al número de personas transportadas y kilómetros explotados y se fue una realidad mediante el sistema de concesión BOT. La línea 1 cuenta con un total de 22 estaciones repartidas por cuatro términos municipales del área metropolitana, la cuarta de España con 1.499.673 habitantes (INE 2008). La tipología de esta primera línea es subterránea por los núcleos urbanos por los que transcurre, y en viaducto o en superficie con plataforma 100% segregada en las zonas no urbanizadas del exterior de los municipios.

El **Tranvía de Murcia** inaugurado en 2011 y realizado mediante concesión BOT. A finales de 2009, hay 1 línea en obras y 3 en proyecto que darían servicio a buena parte del municipio de Murcia. Un "tramo experimental" (parte de la línea 1) de unos 2 km de longitud y un ancho de vía internacional se inauguró en mayo de 2007, tramo que une el centro de la ciudad de Murcia (Plaza Circular) pasando por Avenida Juan Carlos I, C.C. Zig-Zag, Carrefour Zaraiche, hasta la zona de negocios de Juan Carlos I, en la entrada de Espinardo. La empresa encargada de su construcción y explotación fue la UTE formada por Acciona y Cívica (Tranvimur). Y en Octubre de 2009, tomó el relevo una

unión temporal de empresas (UTE) formada en un 60% por FCC y en un 40% por Comsa, encargadas de finalizar las obras de la línea 1, pasando a denominarse el proyecto global "Tranvía de Murcia", abandonando el nombre de "Tranvimur".

El **Tranvía de Valencia**, el primero moderno de España, se inauguró en mayo de 1994 mediante empresa pública. La Línea 4 nació con un recorrido de 9,7 kilómetros y 21 estaciones. Su recorrido, coincidente en gran parte con el antiguo trazado de la línea Ademuz –Grao, posibilitó la conexión del conjunto de las líneas de metro con zonas de alta demanda como la Universidad Politécnica, el nuevo Campus de la Universidad Literaria de Valencia y la Playa de la Malvarrosa.

Catorce años y medio después y tras cuatro ampliaciones, la L-4 tiene una longitud de quince kilómetros y 32 paradas

El **TRAM Metropolitano de Alicante** (en valenciano, *TRAM Metropolità d'Alacant*) inaugurado en 1999 es la marca comercial de ciertos servicios mediante ferrocarril, del área metropolitana de Alicante, así como de la Costa Blanca desde la ciudad de Alicante hasta Denia, en la Comunidad Valenciana. Dicha marca comercial está gestionada por Ferrocarrils de la Generalitat Valenciana, empresa pública del gobierno autonómico, encargada de los ferrocarriles de vía estrecha y de los tranvías que discurren por el territorio de la Comunidad Valenciana.

El **tranvía de Vélez-Málaga** es un tranvía que da servicio al municipio malagueño de Vélez-Málaga y enlaza el núcleo matriz del municipio con la localidad costera de Torre del Mar. De todos los tranvías actualmente en servicio, es el más antiguo de Andalucía. Sus obras comenzaron en 2003 y fue inaugurado el 10 de octubre de 2006. Actualmente, su servicio está suspendido por su alto coste de mantenimiento. Se llevó a cabo por el sistema de concesión BOT.

La Línea A de **EuskoTran**, más conocida como Tranvía de Bilbao inaugurado en 2002, parte de la estación de Atxuri y llega a la de Basurto, abarcando en su trayecto 10 paradas más, mediante las cuales se unen varios barrios y zonas de la villa de Bilbao. El

tranvía de Vitoria es explotado por EuskoTran y entró en servicio el 23 de diciembre de 2008. Las obras comenzaron el 12 de septiembre de 2006, y conecta los barrios más alejados de Vitoria con el centro de la misma, por medio de una línea de tranvía con dos ramales que permite a todos sus usuarios llegar a los barrios de Ibaiondo, Lakua y Abetxuko en 15 minutos desde el centro de la ciudad. Las primeras pruebas empezaron el 6 de octubre de 2008, en el ramal de Ibaiondo. El ramal Abetxuko fue inaugurado en julio de 2009. Fueron gestionadas por empresa pública.

El **Tranvía de Zaragoza** es una red de tranvía que recorre la ciudad de Zaragoza, en Aragón, España, realizada mediante empresa mixta. El primer tramo de la primera línea, Gran Vía (Centro) - Mago de Oz (Valdespartera), que une el centro de la ciudad con el barrio de Valdespartera fue inaugurado el 4 de abril de 2011, siendo de uso gratuito durante sus primeros quince días.¹ La longitud total de esta línea es de 12,8 km, que se recorren a una velocidad comercial de 21 km/h sobre una vía de 1435 mm de anchura.

La primera fase constaba de 11 paradas separadas entre sí 500 metros aproximadamente.

La flota de la red estaba compuesta por 11 tranvías modelo CAF Urbos 3 que realizan el servicio con una frecuencia de entre 5 y 10 minutos. El 31 de octubre de 2012 se ha prolongado hasta el corazón del Casco Histórico con dos nuevas paradas: plaza Aragón y plaza de España. Es un tramo de 800 metros, sin cable de contacto, por lo que los tranvías toman la corriente en las paradas durante los 20 segundos que paran.

En torno a 2013, terminó la construcción de la segunda fase de la línea, hasta Parque Goya a través del Actur y el Campus río Ebro, siendo inaugurada para su uso comercial el día 26 de marzo de 2013. El 20 de diciembre de 2012 se puso en servicio dos nuevas paradas: César Augusto y Murallas, también sin cable eléctrico de contacto.²

El proyecto completo se compone de tres líneas, añadiendo a la actual las líneas 2 (Las Fuentes/San José-Delicias) y 3 (La Jota-Torrero).

La segunda fase de la línea 1 inició sus obras el 3 de marzo de 2011 y finalizaron en torno a 2013. Las otras dos líneas planeadas se previeron para el año 2015.

El **Tranvía de Jaén** es una línea de tren ligero metropolitano que debería recorrer la ciudad de Jaén, conectando el eje centro-norte. Las obras comenzaron en abril de 2009 y finalizaron dos años después. Dicho sistema tranviario transcurre íntegramente en superficie y cuenta con 10 estaciones, discurriendo por las principales arterias de la ciudad para llegar a las zonas industriales y empresariales, así como a otros puntos de interés. El tranvía comenzó a funcionar en período de pruebas con pasajeros del 3 de mayo de 2011 hasta el 19 de mayo de 2011, que fue paralizado por orden judicial debido a competencia desleal a la empresa concesionaria de los autobuses urbanos de Jaén. Desde entonces el tranvía se encuentra paralizado, a pesar de llevar dos años finalizada su construcción, debido a desacuerdos políticos generados en torno al coste de su explotación y su forma de gestión, por lo que se sacará a concurso la explotación de dicha infraestructura.

El **metropolitano de Granada** es un sistema de transporte ferroviario del área metropolitana de Granada gestionado por Ferrocarriles de la Junta de Andalucía de tipo metro ligero, que tiene en algunos tramos características de tranvía y en otros tramos características de metro.

En 2010 se encontraba en construcción la primera línea por concesión operación, que cruza el área de norte a sur uniendo los municipios de Albolote, Maracena, Granada y Armilla.

Tanto el metropolitano de Granada como el Tranvía de Jaén, a fecha de finalización de esta tesis se encuentran sin fecha formal de inauguración.

De manera esquemática el modelo de gestión adoptado por las experiencias de tranvías y metros ligeros en España:

Tabla 2.4. Tranvías y metros ligeros modernos en España	
<i>Modo de Gestión</i>	<i>Ciudades</i>
Empresa Pública	Alicante, Bilbao, Vitoria, Valencia.
Concesión	Madrid-Boadilla, Madrid-Pozuelo, Parla, Sevilla, Tram Baix, Trambessos, Vélez Málaga, Murcia Pinar de Chamartín Las Tablas (Madrid) Granada, Jaén.
Empresa Mixta	Santa Cruz de Tenerife, Zaragoza.

Fuente: Elaboración propia.

Existen también a fecha de terminación de esta tesis doctoral algunos proyectos o metros ligeros en construcción de metro ligero como Toledo con financiación público-privada o la bahía de Cádiz, que además se preveía iba a ser gestionado el servicio por RENFE.

2.6. Madrid y su experiencia en concesiones en el transporte urbano: El Metro Ligero

Por lo que respecta a la Comunidad de Madrid, la primera manifestación de transporte público regular se produce en 1871 con la aparición del tranvía.

Las llamadas líneas “ómnibus” constituidas por grandes diligencias colectivas que operaban con carácter discrecional fueron un fracaso, teniendo tan sólo éxito aquellas líneas con mayor afluencia de pasajeros, como por ejemplo, aquellas que permitían el acceso a lugares de ocio como los teatros o la plaza de toros.

La evolución que experimenta el tranvía en la región de Madrid se puede dividir en las siguientes fases (CRTM, 2010):

- **Red básica anterior a la electrificación (1871-1900)**

En 1871 comenzó a funcionar, en los barrios del centro, la red básica de tranvías de tracción animal, explotada por diversas compañías de capital extranjero. En el extrarradio circulaban las líneas de tracción a vapor.

- **Expansión del tranvía hasta la inauguración del metro (1900-1919)**

La llegada de la electricidad a Madrid, en 1889, supuso la electrificación, en apenas cinco años, de la red tranviaria de tracción animal. Los nuevos tranvías eléctricos tejieron una malla que permitió que la ciudad densificara los nuevos ensanches y que se expandiera en los extrarradios allí donde seguían operando las líneas de tranvía a vapor. El tranvía no sería capaz de romper con las barreras de 4 km/h, habitual en los desplazamientos peatonales, hasta 1875, y llegando a unos impensables 15 km/h en 1900, una vez se electrificaron las líneas principales.

Cuando se produjo la electrificación total de las líneas, la red seguía siendo heterogénea en cuanto al número de empresas concesionarias y al sistema de explotación de las mismas. A pesar de ello fue la época de esplendor del tranvía en Madrid como medio único de transporte público, regular y colectivo; hegemonía que se rompió en 1919 con la inauguración de la primera línea de metro (Sol-Cuatro Caminos).

- **Desde la aparición del metro hasta la municipalización (1919-1948)**

En determinadas zonas suburbanas de Madrid surgió un nuevo paisaje urbano, el de los bloques de edificios de cinco, seis o más alturas. Con la llegada del tranvía los desplazamientos urbanos comenzaron a valorarse en términos de tiempo y la distancia del viaje pasó a ser una variable cada vez menos importante.

En 1930 el tranvía transportó a 201 millones de viajeros frente a los 90 millones del metro. Las preferencias del viajero para la utilización del tranvía radicaban en su elevada frecuencia, su accesibilidad y la penetración de sus líneas en casi todos los barrios. Las distintas compañías operadoras de tranvías comenzaron un proceso de fusión, incorporándose capital español en el control societario de las mismas. La guerra civil representó un duro golpe para las líneas tranviarias, con una gran pérdida de infraestructuras y de material móvil.

En apenas 30 años, la ciudad experimentó un proceso de expansión facilitado por la mayor velocidad del tranvía. El crecimiento se orientó siguiendo los ejes tranviarios, el tranvía llegó allí donde la vivienda era más barata y, así sucesivamente.

Este modelo fue especialmente claro en el caso de Madrid, cuya configuración espacial favorecía la radialidad y los empleos vinculados al comercio y a la administración pública eran más numerosos que los relacionados con la industria.

- **Municipalización y máxima extensión de la red (1948-1954)**

En 1948 se municipalizó el servicio de tranvías pasando a formar parte de la Empresa Municipal de Transportes (EMT). Casi al mismo tiempo, se puso en marcha la red de autobuses urbanos. La desaparición de las terminales e itinerarios por la Puerta del Sol fue representativa del cese paulatino de servicios tranviarios en el centro histórico de la ciudad. En el año 1954 la red de tranvías alcanzó su máxima extensión con 188 km de vías.

- **La decadencia y definitiva desaparición del tranvía (1954-1972)**

Con 188 km de vías de red y material móvil moderno, parecía que el tranvía era aún viable en Madrid. En el año 1956 la demanda anual alcanzó su cifra récord histórica con 260 millones de viajeros. Se construyó una línea nueva en la Castellana y se prolongaron las líneas hacia barriadas de vivienda social en construcción. Incluso se

inviertió en instalaciones como el depósito de Fuencarral y nuevos y modernos tranvías. No obstante, el cierre de las líneas fue incesante desde 1960. La última de sus líneas desapareció en junio de 1972.

- **La nueva generación de Metros ligeros y Tranvías en la región de Madrid**

Las líneas de metro ligero son una de las principales novedades que incorporó el plan de ampliación de la red de metro de Madrid 2003-2007 respecto a planes anteriores. El metro ligero parece ser la mejor opción de transporte colectivo para niveles de demanda que se corresponden con zonas de densidad de población media y baja. En ese sentido, la aparición del material móvil con características intermedias entre los antiguos tranvías y los metros convencionales ha posibilitado el gran desarrollo de este sistema de transporte en los últimos años.

Después de treinta y cinco años desde la desaparición de la última línea de tranvía de Madrid, la región cuenta ahora con varias líneas de metro ligero y tranvía. En esta tesis, el estudio se centrará en las siguientes líneas:

- Línea ML1 “Pinar de Chamartín-Sanchinarro-Las Tablas”.
- Línea ML2 “Colonia Jardín- Pozuelo de Alarcón”.
- Línea ML3 “Colonia Jardín-Boadilla del Monte”.
- Tranvía de Parla.

El modelo elegido para llevar a cabo su puesta en marcha ha sido el de contrato por concesión de obra pública, incluyendo la construcción de la infraestructura y sistemas, mantenimiento y la operación de la línea por parte de una compañía de propósito único en cada uno de los contratos establecidos. El concesionario ha de contar con experiencia previa en construcción de infraestructuras ferroviarias y en la prestación de servicios de transporte. El retorno de la inversión (retribución del concesionario) se realiza mediante

el pago de una tarifa por viajero establecida en el concurso de concesión por los oferentes, pagada por el Consorcio Regional de Transportes. El material móvil es adquirido por los concesionarios de CITADIS 302- TGA puesto a disposición de la Comunidad de Madrid a través de MINTRA. Se trata de vehículos de 32 m de longitud y 100% piso bajo (CRTM, 2011).

La capacidad de adaptación de este modo a entornos diversos ha quedado probada con claridad en Madrid, ya que las líneas presentan funcionalidades que van desde la movilidad metropolitana, en la que conviven los viajes internos de este municipio con los de relación con Madrid, a la movilidad netamente urbana.

Puede, igualmente, convivir y resolver la presencia de grandes infraestructuras viarias como los cinturones de circunvalación de Madrid y otras vías de gran capacidad. Y en la integración urbana ha demostrado tanto la posibilidad de convivencia con el resto de usuarios del espacio público como la capacidad de mejorar la calidad del entorno urbano en el que se inserta.

En definitiva, la motivación que ha conllevado a la construcción de los distintos metros ligeros señalados anteriormente se resume en la búsqueda de una mayor rentabilidad social contribuyendo a la mejora del bienestar social y al desarrollo urbano con el empleo de tecnologías más avanzadas que en los inicios del tranvía.

Por ello, son indudables las ventajas que reporta el metro ligero, contribuyendo a su construcción, entre las que se pueden destacar: (CRTM, 2011)

- Fácil accesibilidad y adaptabilidad PMR (personas de movilidad reducida): Es más accesible debido a sus paradas en superficie, y al diseño de su material móvil con piso bajo.
- Comodidad, accesibilidad y facilidad de utilización, ya que cuenta con aire acondicionado, numerosos asientos por tren, y es muy silencioso.

- Baja contaminación atmosférica y acústica, siendo menos contaminante que el vehículo privado.
- Seguridad, Capacidad, velocidad, regularidad y fiabilidad: es un modo de transporte rápido y de gran conectividad con los principales modos de transporte público, como son el metro, el autobús y el ferrocarril de cercanías.
- Plus para la imagen de la ciudad e impacto positivo en la vida en medio urbano
- Respeto por el medio ambiente
- Menor congestión

Sin embargo, no está exento de inconvenientes, entre los que se encontrarían:

- Alto coste asociado a su construcción y mantenimiento.
- Posibilidad de escasa competitividad con respecto a otros medios de transporte en determinados escenarios.

2.7.Conclusiones

En este capítulo se han examinado los aspectos particulares del sistema de transporte urbano público. Se trata de un bien de consumo intermedio indivisible no almacenable cuya oferta debe consumirse en el momento en que se está produciendo el servicio. Es un sector con un ingente volumen de costes hundidos que junto a la larga vida útil de los activos, supone un inconveniente añadido a la hora de valorar la justificación de la intervención del sector público. En definitiva, el sistema de transporte urbano público genera tres tipos de costes, el de productor, el de los usuarios y costes de carácter social.

En el sector del transporte urbano público, la eficiencia económica no es una condición que baste por sí sola, sino que exige además el logro de un objetivo social. La actuación privada aporta eficiencia y eficacia pero por sí sola, en base a criterios de rentabilidad, no tendría por objetivo la búsqueda del interés público, con lo que se da la existencia de fallos de mercado, justificando la intervención pública en este ámbito. Como fallos de mercado en el sector de transporte urbano público se pueden señalar: el monopolio, las

externalidades, la información asimétrica y la necesidad del control de la calidad y los costes.

Un monopolio natural se origina debido a la existencia de una sola empresa en un mercado y a sus costes medios a largo plazo decrecientes. Las externalidades suponen un efecto soportado por un agente que no lo ha causado originando bien, un mayor nivel de bienestar o reducción el bienestar. En relación al transporte urbano, en esta tesis doctoral se han destacado por su interés las siguientes externalidades: dentro de las positivas el ahorro de tiempo y la reducción de accidentes. Como negativas: la contaminación atmosférica y acústica, y la congestión (ésta última vinculada en sentido inverso con el ahorro de tiempo) con lo que serán externalidades positivas la reducción de dicha contaminación y congestión. En ese sentido, las externalidades que producen las infraestructuras de transporte, tanto negativas como positivas, deben ser tenidas en cuenta a la hora de analizar si un proyecto debe o no llevarse a cabo, teniendo dicha decisión efectos no sólo de tipo económico sino también social.

La asimetría de la información tiene lugar cuando un agente no dispone de la misma información que otro en una determinada transacción. Desde el punto de vista de la necesidad del control de costes y calidad es importante fijar instrumentos de financiación necesarios para afrontar el coste y garantizar que el sistema funcione adecuadamente.

La contribución de la presente tesis doctoral a la existencia de fallos de mercado consiste en el empleo de sistemas de cálculo, análisis y control de los costes y aportación de beneficios que reporta un determinado transporte urbano público: el metro ligero. La justificación de esta tesis doctoral se fundamenta en la necesidad de analizar la eficacia y la eficiencia de destinar los recursos a dicho proyecto o, por el contrario, si deberían haberse destinado a otra actuación.

Por otro lado, el sector público cuenta con diversos mecanismos que permiten intervenir cuando existen tales fallos de mercado, desde el monopolio público a un mercado con provisión privada de infraestructuras y servicios. Asimismo, se aborda el concepto de la colaboración público-privada.

En concreto, este trabajo analiza en profundidad una figura intermedia: la concesión pública. El sistema concesional permite la incorporación del sector privado en los proyectos de transporte urbano público y trata de solucionar los problemas de falta de incentivos que, en ocasiones, pueda conllevar la provisión únicamente pública de servicios. La figura concesional consiste en permitir la existencia de monopolios privados de carácter temporal en la utilización de infraestructuras o en la prestación de servicios de transporte. En este modelo el sector público mantiene la propiedad de la infraestructura básica necesaria para dar el servicio de transporte, pero cede la explotación de dicha infraestructura a una única empresa privada. Generalmente, la forma en la que se realiza esta cesión de derechos es a través de un contrato de concesión, donde se detallan las reglas de uso de la infraestructura y las obligaciones de mantenimiento de la misma. En la cesión de la infraestructura la empresa concesionaria se somete a una regulación determinada en el desarrollo de su actividad, para no abusar de su posición de dominio temporal del mercado que le concede el sector público.

En este tipo de intervención tiene lugar una competencia *por el mercado*, a través de una especie de mecanismo de subasta que el gobierno establece para adjudicar a una empresa el contrato de concesión. La competencia tiene lugar en una fase anterior a la explotación de la infraestructura: en la selección de la empresa concesionaria, de manera que, de entre varias ofertas presentadas, se adjudique a la mejor de ellas. Los criterios de selección en las subastas pueden ir desde las tarifas a cobrar a los usuarios, los pagos al gobierno en forma de canon, las inversiones y mejoras de la infraestructura o el número de años de la concesión. También puede darse el caso de la cesión de la infraestructura a una empresa privada para su rehabilitación y mejora.

Por tanto, el mecanismo de concesión garantiza un incentivo a la eficiencia dinámica, ya que si una empresa consigue un contrato de este tipo y se despreocupa de controlar sus costes, para que no crezcan más que los del resto de la industria en los contratos posteriores que se celebren, corre el riesgo de ser desplazada por otra más eficiente.

Sin embargo, el problema que podría presentar el intento de que determinados servicios públicos se prestaran por un concesionario sería que algunos de ellos no resultarían rentables y, por tanto, a pesar de ser necesarios no se prestarían. Existe, en definitiva, una necesidad de cubrir determinadas zonas en las que al sector privado no le resultaría rentable actuar y que, por tanto, se quedarían desabastecidas e incomunicadas, o por el contrario, actividades que por sus características requieren, un agente regulador público, sin perjuicio de la participación privada en su ejecución y explotación.

A nivel europeo, nacional y regional como se analiza en esta tesis doctoral, el contrato de concesión ha sido la vía por la que se ha optado para su construcción y puesta en funcionamiento de muchos proyectos de transporte urbano público y, entre ellos, el abordado en este trabajo, el metro ligero. En España, la primera construcción de metro ligero moderno tuvo lugar en Valencia en el año 1992. Después de Valencia se acometieron otros: Alicante, Bilbao, Barcelona, Parla, metros ligeros de Madrid, Sevilla, Tenerife, Murcia, Vélez-Málaga, Vitoria o Zaragoza. Las ventajas que ofrece el metro ligero son evidentes, desde el punto de vista del desarrollo urbano, y la reducción de la contaminación y la congestión, lo que ha permitido su empleo en muchas ciudades. Respecto de la rentabilidad social, el metro ligero ha motivado su construcción como una alternativa óptima de transporte frente a otras, especialmente el transporte privado. Su fácil accesibilidad, comodidad, capacidad o su respecto por el medio ambiente han sido algunos de sus principales ejes vertebradores. No obstante lo anterior, no cabe olvidar el elevado coste que conlleva su construcción y mantenimiento.

En este trabajo se estudian las líneas de metro de la Comunidad de Madrid, esto es las líneas ML1 “Pinar de Chamartín-Sanchinarro-Las Tablas”, ML2 “Colonia Jardín-Pozuelo de Alarcón”, ML3 “Colonia Jardín-Boadilla del Monte” y el Tranvía de Parla. El modelo elegido para llevar a cabo la puesta en marcha de estas líneas ha sido el contrato por concesión de obra pública, incluyendo la construcción, mantenimiento y operación de las citadas líneas.

3. EL ANÁLISIS DE LA EFICACIA Y DE LA EFICIENCIA EN LAS CONCESIONES DEL TRANSPORTE PÚBLICO URBANO: EL CASO DEL METRO LIGERO (I): ANÁLISIS COSTE BENEFICIO

3.1.Introducción

Cualquier proyecto impulsado por el Sector Público produce alternaciones en la asignación de los recursos que son susceptibles de ser evaluadas económicamente (Albi et al., 2013). Para la evaluación de los cambios producidos en la asignación de recursos se requiere de un método que permita determinar cuáles han sido los cambios producidos y la intensidad con que éstos se han producido.

La evaluación desde el punto de vista financiero se concentra en el concepto de beneficio empresarial, y por tanto, estudia qué parte de los costes, incluyendo la inversión, se cubre con los ingresos de las empresas que gestionan los servicios y la infraestructura. Por otro lado, el análisis de la rentabilidad social contrapone los beneficios derivados de las ganancias de tiempo, disposiciones a pagar de la demanda generada y costes evitados, con los costes de oportunidad de la inversión y la operación (Betancor y Llobet, 2015).

En ese sentido, esta tesis doctoral evaluará en el ámbito del sector público las concesiones en transporte urbano y, en particular, el caso del metro ligero mediante la metodología del análisis coste beneficio (ACB). La razón por la que se ha decidido escoger esta técnica es que el análisis coste beneficio permite valorar inversiones teniendo en cuenta aspectos, de tipo económico, social y medioambiental, que no son considerados en las valoraciones puramente financieras. Por tanto, con este trabajo se pretende estudiar la contribución de un proyecto al bienestar social, yendo más allá de criterios puramente de rentabilidad financiera.

El ACB detalla y cuantifica los elementos positivos y negativos de llevar a cabo un proyecto o una política. En el sector público, evalúa si una determinada decisión es rentable desde tres aspectos diferentes: el económico, el social y el medio ambiental.

Los elementos positivos son ingresos para el proyecto, mientras que los negativos son los costes que supone acometerlo. En cualquier caso, tanto los ingresos como los costes engloban una concepción amplia de los mismos, puesto que incluyen los de carácter directo e indirecto.

A continuación, se van a presentar los principales aspectos teóricos de dos enfoques distintos del ACB: una primera aproximación desde la economía del bienestar partiendo de conceptos como el excedente del consumidor, la variación compensada y la equivalente y, una segunda, que será la aplicada y desarrollada empíricamente para los casos de metro ligero en la Comunidad de Madrid, la tradicional o por fases y, se realizará una revisión de la literatura de esta metodología en materia de infraestructura y transporte.

En concreto, en la parte de aplicación de la metodología se elaborará un ACB (**modelo inicial**) por fases *ex ante* del metro ligero con demanda estimada en términos relativos, es decir, se analizará la bondad de la construcción del metro ligero en dos supuestos diferentes, primero, frente al uso del vehículo privado y segundo, frente al empleo de autobuses.

Asimismo, se van a construir los siguientes modelos también en términos relativos: un **modelo inicial con un análisis de sensibilidad**, a partir de incrementos de demanda estimada y por último, un **modelo con variante**, que incluye el impacto de la demanda real.

3.2. Análisis Coste Beneficio (ACB) en las concesiones del transporte público urbano: Metodología

Desde el punto de vista metodológico podemos señalar dos enfoques en el análisis coste beneficio (ACB): el enfoque metodológico del ACB desde la economía del bienestar y el enfoque metodológico del ACB tradicional o por fases. Este último será el utilizado en la presente tesis doctoral empíricamente.

3.2.1. Enfoque metodológico del ACB desde la economía del bienestar

Desde esta perspectiva el enfoque del análisis coste beneficio busca maximizar el bienestar social. Al llevar a cabo un proyecto público, se trata de medir las mejoras que éste reporta.

Relaja las tesis paretianas que señalan que no son posibles mejoras en el bienestar de un individuo si existen pérdidas de otros, aunque el único individuo existente sea él mismo. En definitiva, el análisis coste beneficio aceptará aquellos proyectos que produciendo aumentos del bienestar individuales, compensen las pérdidas, aunque no sea de forma explícita.

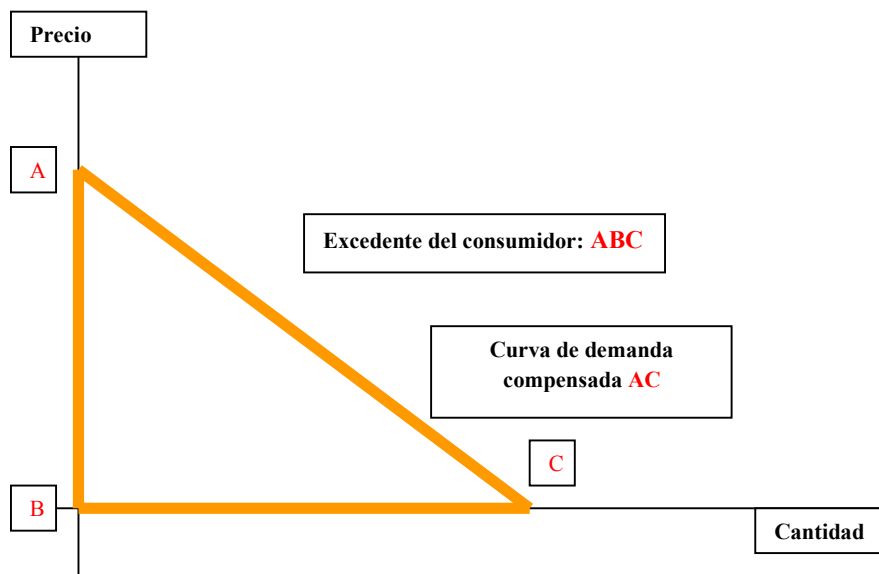
El ACB se basa en los principios de Hicks y Kaldor, según los cuales, un criterio de decisión ha de guiarse en que, baste con que los ganadores, aquellos cuyo bienestar va a aumentar con la infraestructura, puedan compensar potencialmente a los que van a experimentar una pérdida neta de bienestar, esto es, a los perdedores.

Si bien se entiende potencialmente, no requiere que la compensación se lleve realmente a cabo, en particular, a nivel individual. No obstante lo anterior, se tienen en cuenta los daños de los perdedores para asegurarse que, por lo menos en el agregado neto, se obtengan beneficios.

En definitiva el criterio de compensación de Kaldor-Hicks implica que el valor de la utilidad marginal social de la renta es igual a uno, de manera que sólo se comparan los beneficios con los costes para determinar si se trata o no de un proyecto socialmente deseable (Kaldor, 1939).

Partiendo de la existencia de perdedores al acometer una obra pública y, según el citado criterio de compensación de Kaldor-Hicks, un proyecto deberá elegirse cuando la suma del excedente del consumidor de los ganadores supere la suma del excedente del consumidor de los perdedores. Desde esta perspectiva, el ACB emplea como técnica de medición la teoría del excedente del consumidor. Se tienen en cuenta las preferencias de los individuos y se ponderan por el valor de mercado, es decir, muestran su disponibilidad a pagar en función de su capacidad de pago.

Ilustración 3.1. Excedente del consumidor



Fuente: Elaboración propia

El excedente del consumidor mide la diferencia entre lo que un consumidor estaría dispuesto a pagar por determinadas unidades de un bien o un servicio y lo que finalmente paga. A modo de ejemplo, se parte de una curva de demanda compensada de

utilización de un tranvía, que representa la cantidad que se demanda conforme baja su precio de uso.

En el eje X se muestra la cantidad o número de veces que se toma el tranvía y en el eje Y el precio que se paga por el billete. La ganancia generada por su construcción es el área que se encuentra debajo de la curva de demanda compensada, esto es: el excedente del consumidor.

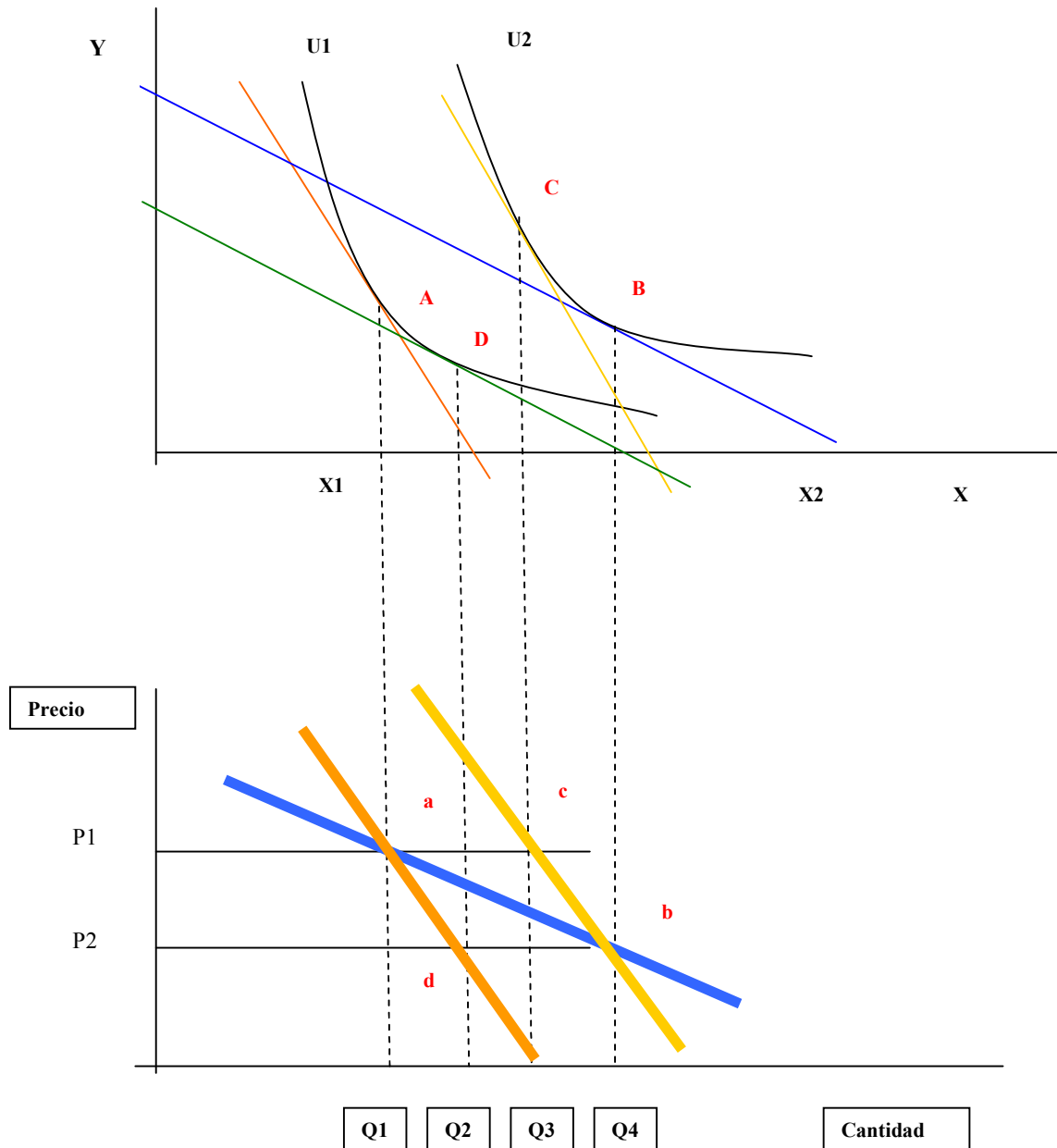
Para valorar los beneficios que reportaría la construcción del tranvía, deberíamos sumar el bienestar que supone para cada uno de los potenciales usuarios. Existen diversos métodos para medir el excedente del consumidor. A continuación, se pasará a analizar gráficamente el excedente neto del consumidor (medida marshaliana), la variación compensada y variación equivalente.

La Variación Compensada es la cantidad adicional de renta monetaria que deberá recibir el consumidor para alcanzar la misma utilidad que antes de la variación del precio de uno de los bienes (por ejemplo, el incremento de renta monetaria necesaria, tras la introducción de un impuesto). Un concepto vinculado a la variación compensada es la renta compensatoria, que representa la renta monetaria que permite al individuo alcanzar, tras la variación del precio de uno de los bienes, la misma utilidad a la que tenía acceso antes de esa variación. Gráficamente, es la renta monetaria con la que la recta de balance es tangente a la curva de indiferencia inicial, siendo la pendiente de la recta de balance, la nueva relación de precios.

Por otro lado, la Variación Equivalente es la cantidad máxima que pagaría el individuo para evitar que se produzca una distorsión en los precios de los bienes debida a la variación de uno de ellos. La Renta equivalente comprende la renta monetaria que le permite al individuo alcanzar el nivel de utilidad que obtiene tras la variación del precio de uno de los bienes, pero evitando la distorsión en los precios que produce ese aumento. Supone la renta monetaria para la que la recta de balance sea tangente a la curva de indiferencia en la que se sitúa el individuo tras la variación del precio, siendo

la pendiente de la citada recta de balance, la del precio antes de la variación. En la siguiente ilustración se representan las tres medidas anteriormente descritas.

Ilustración 3.2. Excedente del consumidor, variación compensada y variación equivalente



Fuente: Ginés de Rus, 2004.

En la parte superior se ha representado un mapa de curvas de indiferencia entre dos bienes con la restricción presupuestaria de un individuo, que inicialmente se encuentra en equilibrio en el punto A.

Posteriormente, se ha reducido el precio del bien X y se ha obtenido una nueva restricción presupuestaria y un nuevo equilibrio en el punto B. El paso de A a B recoge el efecto renta más el efecto sustitución, pero si mantenemos el nivel de utilidad constante el individuo estaría en el punto D.

El paso de A a D es el efecto sustitución. A lo largo de la curva U_2 , se mantiene el mismo nivel de utilidad, si representamos una restricción presupuestaria paralela a la inicial tangente a la curva U_2 , se puede determinar la variación equivalente. C es el punto de tangencia de una línea paralela a la restricción presupuestaria original, con la curva U_2 . La parte inferior del gráfico recoge la curva de demanda marshalliana (línea azul) y hicksiana (línea naranja).

En consecuencia, la medida marshalliana del excedente del consumidor (EC) sería el área comprendida en $P_2b a P_1$, quedando por debajo de la curva de demanda marshalliana; la Variación compensada (VC) comprende $P_2d a P_1$, que queda por debajo de la curva de demanda hicksiana y la Variación equivalente (VE) viene determinada por el área $P_2b c P_1$.

La variación equivalente supera a la medida marshalliana del excedente del consumidor, y éste, a la variación compensatoria. $VC < EC < VE$. La situación se invierte cuando se eleva el precio o se empeoran las condiciones de oferta $VC > EC > VE$. La diferencia entre las tres medidas será mayor cuanto mayor sea la elasticidad demanda renta del bien cuyo precio cambia. Las tres serían idénticas cuando la elasticidad precio fuese uno. El excedente del consumidor está entre las dos medidas, con lo que el error de usarlo es pequeño siempre que se modifique el precio y no la cantidad. Si se modifica la cantidad, las diferencias entre la disposición a pagar y la compensación exigida pueden ser grandes.

En conclusión, una vez analizados los conceptos anteriores, cabe señalar que el excedente del consumidor es más fácilmente calculable que la variación compensada y la equivalente. Al partir de una función de demanda normal, su cálculo se deriva de una magnitud, en principio, observable. Por el contrario, las curvas de demanda compensada son construcciones teóricas y, por tanto, no son directamente derivables de la actuación de un individuo. En consecuencia, las variaciones compensada y equivalente son difíciles de determinar. Es por eso por lo que se suele recurrir a “la disposición a pagar” – lo que una persona estaría dispuesta a dar para obtener una mejora, o evitar un cambio que empeoraría su situación- o la compensación exigida o la “disposición exigida” para aceptar el cambio, es decir, lo que demandaría un individuo para aceptar un cambio que empeora su situación, o renunciar a uno que la mejorara.

3.2.2. Enfoque metodológico del ACB tradicional o por fases

Este tipo de análisis se utiliza especialmente en las inversiones públicas, en las que, además de los aspectos puramente económicos, es necesario considerar los efectos sobre el bienestar social y medioambiental.

En la valoración de inversiones desde una perspectiva estrictamente financiera, los cobros y pagos se computan a precios de mercado. Sin embargo, el análisis coste beneficio incluye algunos aspectos que no pueden valorarse de una forma tan sencilla, como la reducción de fallecimientos por un nuevo sistema de seguridad o el efecto en las poblaciones limítrofes de la construcción de una infraestructura de comunicación. Desde una perspectiva tradicional, las fases del ACB para poder valorar este tipo de aspectos se pueden resumir en las siguientes (Iturrioz del Campo, 2014):

- a) Determinación de cobros y pagos a precio de mercado.
- b) Correcciones por transferencias.
- c) Inclusión de externalidades.
- d) Obtención de los precios sombra.

e) Determinación de la tasa de descuento social.

f) Valoración de los flujos de caja actualizados.

a) Determinación de cobros y pagos a precio de mercado

En esta primera fase se realiza la identificación de los cobros y pagos que genera el proyecto de inversión analizado. Inicialmente, estos elementos son incorporados a precios de mercado, sin que existan diferencias significativas con respecto a la valoración de las inversiones realizadas únicamente desde una perspectiva financiera.

b) Correcciones por transferencias

La segunda fase incluye una doble corrección, por un lado de carácter fiscal y por otro de las subvenciones y transferencias públicas. Más concretamente la corrección fiscal elimina, entre otros, los impuestos indirectos sobre los consumos intermedios y los bienes producidos. Asimismo las subvenciones y las transferencias públicas no deben incluirse como cobros.

c) Inclusión de externalidades

Consiste en la incorporación de los costes y beneficios externos que no se han tenido en cuenta desde la perspectiva financiera, como el impacto ambiental, o el ahorro de tiempo. El objetivo es atribuirles un valor monetario, pero en el caso de que no sea posible deberán cuantificarse de forma física, mediante otros indicadores que permitan su evaluación.

d) Obtención de los precios sombra

La cuarta fase tiene como objetivo transformar los precios de mercado en precios que recojan los costes y beneficios sociales o “precios sombra”. El precio sombra está vinculado al concepto de coste de oportunidad. Para evitar las distorsiones en los precios de mercado obteniendo así el valor del precio sombra se pueden utilizar los factores de conversión. Estos factores ajustan los precios de consumo o los costes.

En la valoración económico social de los costes y beneficios, la figura del precio sombra es esencial, puesto que es el valor de la contribución a los objetivos socio-económicos de un cambio marginal de un bien o factor. En definitiva, el precio sombra es el precio social de un bien calculado a partir de un precio de mercado, mediante un factor de conversión.

No obstante lo anterior, los conceptos de precio sombra y factor de conversión se abordarán con mayor detalle en apartados posteriores.

e) Determinación de la tasa de descuento social

La penúltima fase consiste en especificar el tipo de actualización que se utilizará como referencia para la valoración de los flujos de caja generados por la inversión. El análisis puramente financiero utiliza como tasa la rentabilidad mínima que se exige a la inversión, pudiendo emplear diferentes referencias (como la rentabilidad de otro proyecto alternativo o el coste de los recursos para la empresa).

Sin embargo, en el análisis coste beneficio, la tasa de descuento debe incluir también los efectos sociales, tomando la denominación de “tasa de descuento social”. Por tanto, esta tasa representa la rentabilidad mínima que tiene que lograr la inversión analizada para que sea aceptable desde el punto de vista de la sociedad en su conjunto.

f) Valoración de los flujos de caja actualizados

Una vez obtenidos los flujos de caja, en los que se incluyen los efectos sobre el bienestar social, y la tasa de descuento social, la última fase busca lograr un valor que nos permita determinar la conveniencia o no de realizar la inversión, y, en caso de que existan varias alternativas, decidir cuál o cuáles son las elegidas.

Para ello es necesario homogeneizar los flujos de caja mediante alguno de los métodos de valoración de inversiones, fundamentalmente se emplean VAN y TIR. En este sentido su aplicación es similar a la que se realiza en la valoración de inversiones desde una perspectiva financiera, aunque teniendo en cuenta que tanto la tasa de descuento

como los flujos de caja empleados incluyen los efectos sobre el bienestar social. Este tipo de aproximación al ACB presenta ventajas e inconvenientes. Entre las prerrogativas del ACB podemos destacar:

- Sencillez

El ACB es un método racional de fácil cálculo y entendimiento. Su claridad significa que todos los involucrados comprendan la naturaleza monetaria del proyecto y la cuestión de su continuidad.

Su sencillez se traduce también en la posibilidad de aplicarlo a varios escenarios. La unidad de medida en términos monetarios potencia la simplicidad de este método, si bien puede contribuir a cierta falta de precisión en algunos casos.

- Objetividad

Con esta técnica, los evaluadores del proyecto deben cuantificar los costes y beneficios de forma objetiva, dejando a un lado apreciaciones subjetivas y cuestiones ajenas al proyecto. A este respecto, las consideraciones económicas no son las únicas tomadas en cuenta en las decisiones de invertir en un proyecto, pero, sin duda, son importantes (Thomson, 2014). El ACB es una herramienta que permite ir más allá de tales consideraciones permitiendo analizar aspectos de tipo social y medioambiental.

- Regla de decisión directa en la selección de proyectos

El ACB establece una regla directa de decisión basada en una distribución de los recursos eficiente y eficaz. El ACB permite evaluar cualquier actuación pública viendo si el criterio de eficiencia es el predominante o, si por el contrario, la eficiencia se relega a la redistribución de recursos a favor de las personas más desfavorecidas.

En definitiva, el enfoque metodológico del ACB es una herramienta poderosa para descubrir, dimensionar y comparar las ventajas y desventajas ambientales, económicas y

sociales de implementar planes y programas públicos tendentes a incrementar el bienestar social.

No es sólo que puedan medirse los beneficios, restar de ellos los costes, y ver si el saldo es negativo (deestimando así el proyecto) o positivo (estimándolo), sino que nos permite hallar su tasa de rendimiento o, alternativamente, el volumen de ganancia social que reportaría. De cara a un futuro, la evaluación coste beneficio de las nuevas inversiones ha de ser un eje esencial de la infraestructura a construir (Hernández, 2012).

Por otra parte, con carácter general, el ACB puede presentar características que se basen en problemas técnicos de valoración y en cuestiones de justicia social. En ese sentido, la simplicidad del ACB, paradójicamente, puede dar lugar a complicaciones. Por ejemplo, en la determinación de asumir o no un proyecto, las estimaciones deben ser precisas sobre los beneficios que se reciben del proyecto.

Asimismo, se debe prestar atención a evitar la doble contabilización a la vez que a realizar una adecuada enumeración y evaluación de los costes y beneficios del proyecto.

Adicionalmente, ante la existencia de mercados de capitales imperfectos, no es recomendable elegir como tasa de descuento el tipo de interés de mercado, puesto que generalmente se producen distorsiones importantes. Esta dificultad se acentúa si las generaciones presentes infravaloran los beneficios que un proyecto pueda ocasionar sobre generaciones futuras. La determinación de los beneficios cuantitativos de un proyecto es relativamente sencilla. Sin embargo, cuando se toman en cuenta los beneficios cualitativos, como sucede con los bienes intangibles, la situación puede ser más complicada. A este respecto, la metodología del ACB se complementa con métodos de valoración de intangibles, como la valoración contingente o los precios hedónicos.

En conclusión, no se trata de que el ACB sea el único medio para que el sector público tome sus decisiones, pero conviene señalar que constituye una importante fuente de información para adoptar una determinada política (Hanley y Barbier, 2009), pudiendo

afirmar que es una técnica válida para seleccionar los proyectos públicos y, en particular, de infraestructuras de transporte. De esta forma, el ACB es un buen esquema para el estudio de los impactos de los planes y programas del sector público, aportando información a aquellos agentes que deban tomar una decisión sobre realizar o no un determinado proyecto. Las administraciones públicas de todo el mundo se enfrentan a problemas cada vez más complejos e interrelacionados, que requieren un modelo de decisiones y de medida que asegure una gestión eficiente de los recursos y los bienes públicos. Es necesario que las decisiones de los responsables públicos comiencen cada vez más con una pregunta en vez de con una respuesta, y que se cree una cultura de análisis que se extienda a todos los ámbitos de la gestión pública con el fin de medir adecuadamente lo que supone para las arcas públicas llevar a cabo un proyecto. El análisis coste beneficio ofrece una herramienta adecuada de asistencia a estas decisiones (Aparicio, 2013).

3.3.Revisión de la literatura

La aplicación del ACB a los proyectos de gasto público tiene su origen en 1936 en Estados Unidos (Flood Control Act). Desde entonces, el ACB ha cosechado importantes éxitos, especialmente en la evaluación de proyectos de transportes, aunque actualmente se extiende a otras muchas áreas del sector público (De Rus, 2005). La práctica del ACB se dirige hacia lo que se denomina el problema económico fundamental: cómo asignar recursos escasos ante las necesidades ilimitadas existentes.

Se trata de una herramienta para ayudar en la toma de decisiones que transmite información útil para aquellos que tienen que adoptarlas. El ACB no sólo permite comparar costes y beneficios de acciones particulares, reflejando la escasez de recursos, sino también muestra las preferencias de la gente para ser tenidas en cuenta por aquellos que deben tomar las decisiones (Hanley y Barbier, 2009). El ACB fue definido como la maximización del valor presente de todos los beneficios menos todos los costes, sujeto a restricciones específicas (Prest y Turvey, 1965). En ese sentido, el ACB es un método

analítico que permite organizar sistemáticamente la información requerida con el fin de mejorar la adopción de decisiones.

En el sector público, por ejemplo, logra un mayor control económico del gasto público, ya que proporciona un conocimiento de las alternativas disponibles y de los efectos de la toma de decisiones. Con este sistema se comparan todos los beneficios y costes que originan una forma determinada de emplear recursos. Es especialmente útil en los proyectos públicos porque introduce la racionalidad en el empleo de recursos, ya que maximiza la diferencia entre los beneficios y los costes y mide la contribución del proyecto al bienestar general (Crook, 1992).

Por otro lado, cuando se quiere realizar un análisis coste beneficio social el objetivo es más amplio y el horizonte temporal puede ser mayor. En este caso, el término “social” se usa en la literatura para referirse a tres aspectos diferentes del análisis coste beneficio. En primer lugar, para denotar que deben tenerse en cuenta los efectos que el proyecto produce en todos los individuos de la sociedad, no sólo en los que se encuentren directamente relacionados con aquél, que serían los consumidores o productores del proyecto. En segundo lugar, se emplea para reconocer la inclusión de los efectos distributivos junto con los relativos a la eficiencia. Sin incluir los primeros, el ACB es únicamente económico y no social. No obstante ello, no siempre la distribución debe formar parte del ACB, (Mishan, 1976; Harberger, 1978).

Finalmente, se utiliza para enfatizar que los precios de mercado no siempre son buenos indicadores de lo que los individuos están dispuestos a pagar. Un precio social refleja el precio de mercado, incluyendo los efectos que el mercado no recoge o lo hace, pero de manera imperfecta. (Brent, 2007). La aplicación del ACB en el ámbito del transporte ha sido fructífera, pues permite valorar monetariamente beneficios y costes en este tipo de proyectos de una manera eficaz. A tales efectos, en el siguiente cuadro se presenta una revisión de la literatura:

Tabla 3.1. Revisión de la literatura ACB en materia de transporte

Autor	Objetivo del Trabajo y metodología	Resultados y aportaciones
Inglada, V. y De Rus, G (1993)	Cálculo ex-ante de los costes y beneficios. Se determina cuál sería la situación futura del corredor sin el tren de Alta Velocidad y se diseña el contexto futuro con dicho tren.	En los años 80 la evaluación realizada en la alta velocidad española arroja un resultado negativo. Este estudio aporta la visión útil de un ACB comparativo.
Vergara, C. y Robusté, F. (2002)	ACB de las concesionarias de autopistas como operadores de transporte en régimen de gestión interesada.	La aportación se basa en incluir parámetros suficientes, para que la Administración pueda medir con precisión el servicio prestado por el operador y verificar la calidad de la gestión de las autopistas.
Caride, M.J.; González, X.M. (2003).	ACB de la conexión Galicia-Madrid con tecnología ferroviaria de alta velocidad (TAV).	La principal aportación es la realización de un ACB que permita poner de relieve la contribución de este proyecto a la mejora del bienestar social.
De Rus, G. y Román, C. (2006)	Aplicación de un modelo simplificado de evaluación económica para la línea Madrid-Barcelona.	En el caso de proyectos dudosos, la decisión de construir una línea de alta velocidad puede posponerse hasta tener una mejor información. El trabajo señala la importancia de disponer de información de la demanda.
Baeza, M. (2008)	ACB en el sector de las autopistas de peaje en España, así como de los planes económico-financieros de los contratos de concesión desarrollados desde 1967 a 2006.	Más del 50% de los contratos de concesión de autopistas estatales adjudicados en España en el período analizado han sido renegociados. La aportación consiste en el efecto de la renegociación en una concesión.

Jordá, P. y VV.AA. (2009).	ACB para evaluar el impacto sobre el desarrollo socioeconómico, la intermodalidad y la regeneración urbana de los sistemas de Metro Ligero, Tranvía y Autobús Guiado en las Ciudades de Tamaño Pequeño y Mediano en el siglo XXI.	Todos los proyectos contribuyen a la reducción del uso del coche y al aumento del uso de transporte público. La aportación fundamental se basa en el empleo del ACB para la búsqueda de desarrollo socioeconómico en el ámbito urbano mediante el transporte.
Betancor, O. y Valido, J. (2009).	Recopilar y revisar la experiencia internacional sobre evaluación socioeconómica de proyectos de transporte basado en el ACB.	La aportación básica de este trabajo es la identificación de problemas que o no se resuelven apropiadamente o no se tratan en otros estudios: la incertidumbre, las implicaciones sobre equidad y la incidencia de los contratos asociados al proyecto.
Ministerio de Fomento, Ministerio de Medio Ambiente, Medio Rural y Marino y CEDEX. (2010).	Aplicación del ACB para plantear la necesidad de que las inversiones públicas en infraestructuras y servicios de transporte sean evaluadas aplicando un análisis coste-beneficio.	Asignación particular de los recursos productivos de la sociedad mediante niveles de provisión y uso de las infraestructuras y servicios de transporte, que conduce a cierto nivel de bienestar social. La aportación de este trabajo radica en la importancia de la aplicación práctica del ACB en los proyectos de transporte dada la asignación escasa de recursos.
Nash, C. (2010).	Descripción de un enfoque para aplicar el ACB: utilizar un enfoque que incorpora el ACB en un marco de decisión multicriterio vinculado a los objetivos de la política de transportes.	La aportación de este trabajo estriba en que la evaluación se considera como un análisis puramente técnico orientado a conseguir un indicador único del valor económico generado con los recursos públicos.

Gómez, J. L. (2010).	ACB para la evaluación del análisis y criterios de decisión a favor del transporte público y por la disminución del flujo de automóviles.	Resulta favorable al soterramiento si el tráfico es intenso. La aportación de este estudio se orienta a la mejora de la movilidad urbana aplicando el ACB.
Turró M. (2010)	Estudio de por qué las instituciones financieras internacionales aplican un ACB en propuestas de proyectos que financiarían.	La aportación básica de este estudio se recoge en distintas recomendaciones para los promotores que aspiren a tener financiación de un banco multilateral.
González , M. y Anna, A. (2010).	Determinar si las inversiones futuras deberían ser sometidas a evaluación previa (ACB) bajo criterios de rentabilidad social más estrictos a los de épocas anteriores.	La evaluación socioeconómica de proyectos de transporte como prioridad para la toma de decisiones de inversión en infraestructuras o transportes. Una aportación a destacar de este estudio es que en épocas de crisis se debe introducir una mayor racionalidad en las decisiones de inversión pública.
De Rus, G. (2011)	ACB para entender la racionalidad económica para la asignación de fondos públicos para la construcción de nuevas líneas de alta velocidad.	El examen de los datos sobre los costes y la demanda muestra que la necesidad de invertir requiere, entre otros, un alto volumen de demanda en el corredor donde se construye la nueva línea, o ahorro de tiempo significativo. Como aportación de este estudio está la importancia de la demanda para construir un proyecto.

Albalate, D. y Bel, G. (2011)	ACB de la alta velocidad, atendiendo a sus múltiples dimensiones, para contribuir a que el análisis económico tenga mayor impacto en el debate sobre esta política pública.	Es característica identificativa de la política de infraestructuras en España la extensión acelerada de la red de alta velocidad en ancho de vía internacional desde el año 2000. Entre las aportaciones destacar la importancia de las cuestiones relativas al diseño y estructura de la red, los costes económicos y su retorno social, así como ambientales.
Bel, G. (2011)	Discusión sobre la reforma de algunas características institucionales y organizativas de las grandes infraestructuras en España que contribuya a racionalizar la política de transporte, mediante ACB.	En materia de las autopistas, este estudio concluye que las inversiones en mantenimiento y reposición han adquirido prioridad. Como aportación destacar la propuesta de reformas de tipo organizativo e institucional que mejorarían los incentivos para una política más racional.
De Rus, G. (2011)	Este trabajo se ocupa del ACB en la inversión pública en alta velocidad ferroviaria y trata de comprender la justificación económica para una asignación de fondos públicos en la construcción de nuevas líneas de alta velocidad.	El examen de los datos sobre los costes y la demanda muestra que la necesidad de invertir en estas infraestructuras bajo una serie de condiciones, entre otras, un alto volumen de tráfico en la zona donde se vaya a construir. La aportación de este trabajo se centra en la importancia del volumen de demanda necesario para acometer un proyecto.

Albalate, (2012).	ACB sobre el impacto social y distributivo que se ha tenido que llevar a cabo en la renegociación del tramo de autopista Tarragona-Valencia y Valencia-Alicante (AP-7).	Existe una relación bilateral entre los agentes que acuerdan la renegociación (Estado y Concesionaria) los cuales salen beneficiados de ésta, en cambio los usuarios sufren una importante pérdida de bienestar. Entre las aportaciones destacar la preocupación del bienestar social mediante un ACB.
Corporación Rehovot, S.A. (2012).	ACB en el proyecto de Ampliación y Modernización de la Línea 1 de Tren Ligero Urbano de Guadalajara. Reducción de Costes Generalizados de Viaje, CGV.	Menores CGV dan lugar a una reducción de emisiones de gases efecto invernadero, al incremento del bienestar de los usuarios y la reducción de la accidentalidad. La aportación principal de este estudio estriba en la búsqueda de una menor accidentalidad vía ACB.
Segarra, A. (2012)	ACB de los costes y beneficios de las distintas alternativas de corredores ferroviarios que enlazarían el Estado español con la red transeuropea.	En el caso del corredor del Mediterráneo los costes de las infraestructuras ferroviarias no pueden ser un obstáculo para llevar a cabo las inversiones. Como aportación destacar la aplicación del ACB para la mejora de la conectividad de la red transeuropea.
Morán, E. (2012)	ACB de los beneficios, costes y riesgos de la colaboración público-privada a partir de un estudio aplicado a las autovías gallegas financiadas por el sistema de peaje en sombra.	El peaje sombra es eficaz en la provisión de infraestructuras, pero no traslada totalmente el riesgo de construcción al agente privado. Como aportación, el análisis de la aplicación de los precios sombra en el ACB.

Hernández, A. (2012)	ACB comparativo de un mismo corredor antes y después de la introducción de la nueva infraestructura.	La aportación de este trabajo es la utilidad del ACB para comparar una infraestructura consigo misma bajo diferentes escenarios.
De Rus, G. (2012)	Determinar si invertir en la construcción de la infraestructura del ferrocarril de alta velocidad en un corredor estándar de media distancia como el de Estocolmo y Gotemburgo en Suecia es socialmente deseable.	La inversión en infraestructuras de alta velocidad ferroviaria es una buena alternativa para resolver los problemas de capacidad en el transporte de los corredores interurbanos. En cuanto a las aportaciones señalar la influencia de la normativa en un proyecto.
Aparicio, A. G. (2013).	Aplicación del ACB en la gestión pública	El análisis coste-beneficio ofrece una herramienta adecuada de asistencia a estas decisiones. Entre las aportaciones indicar el empleo del ACB en el ámbito del sector público.
Bernal, E.C. (2013)	ACB comparativo de los sistemas de bicicletas públicas de la ciudad de Barcelona, España y la Ciudad de México como respuesta a la necesidad de mejorar la movilidad de las ciudades actuales.	Los principales resultados arrojan un mayor crecimiento del sistema de bicicletas públicas mexicano en comparación del de Barcelona. Este estudio realiza una aportación en el campo del ACB comparado siendo una herramienta útil.
González, J.A. (2013).	ACB comparativo de una infraestructura férrea con una infraestructura carretera.	Cuantificación de los beneficios que una vía férrea puede traer a una determinada región. La aportación de este trabajo redunda en la utilidad del ACB para medir los costes y beneficios de una infraestructura.

Aguilera, A.A. (2013)	ACB a proyectos de infraestructura terrestre, tomando en cuenta índices económicos para calcular la rentabilidad del proyecto.	La aportación básica de este estudio radica en la necesaria aplicación de análisis de sensibilidad cuando se realiza un ACB.
Navazo, M. (2013)	ACB del planeamiento territorial aprobado en Cataluña en el periodo 2006- 2010	Puede que las infraestructuras de transporte no sean una estrategia para lograr el modelo territorial definido en los planes territoriales. Entre las aportaciones destacar, la aplicación del ACB como herramienta adecuada para la toma de decisiones en el sector público en materia de infraestructuras.
Cisneros, D. L.(2014)	Analizar y presentar el estado de la evaluación socioeconómica de proyectos de carreteras en México entre 2007-2012.	La aportación de este trabajo contribuye a analizar adecuadamente la construcción de una carretera que pueda determinar la creación de desarrollo regional.
Sánchez-Ollero, J.L (2014)	ACB para determinar la justificación de la promoción de la alta velocidad en España, aplicando el caso concreto de Andalucía	La ausencia de retornos económicos en estas inversiones no ha sido obstáculo para el desarrollo del AVE en España. Este estudio realiza como aportación que el ACB debe servir como herramienta para la toma de decisiones en el ámbito público para aprovechar de manera óptima los recursos.

Thomson, I. (2014).	ACB de la planificación de los ferrocarriles metropolitanos de América del Sur en el siglo XXI	Como aportación señalar que los aspectos económicos no son los únicos a tener en cuenta en las decisiones de invertir en sistemas de metro, pero, sin duda, son importantes.
Betancor, O. y Llobet, G. (2015)	Estudia la rentabilidad financiera y social de la alta velocidad ferroviaria en España.	Con la excepción del análisis financiero del corredor Madrid-Norte, los resultados muestran que se cubren los costes variables tanto en términos financieros como sociales. Sin embargo en ningún caso se cubre la inversión, lo que implica que, teniendo en cuenta los niveles de demanda, estas inversiones no serán rentables ni para las empresas ni para la sociedad.
Roda, P. et al (2015)	El estudio está dirigido a explicar las inter-relaciones entre la infraestructura de transporte y la actividad económica en Colombia	Los proyectos de mayor retorno económico son aquellos que eliminan los cuellos de botella que aún persisten en los principales corredores de comercio.
Massiani, J. (2015)	Análisis de rentabilidad de las políticas para el desarrollo de vehículos eléctricos en Alemania.	La mayoría de las políticas investigadas tienen una relación beneficio-coste negativo.

Fuente: Elaboración propia.

Al igual que los trabajos presentados en la tabla anterior, el ACB de esta tesis doctoral está orientado a la toma de decisiones en el marco de la gestión pública de las infraestructuras de transporte. Si bien la evaluación económico-social de este tipo de proyectos es una tarea necesaria en el sector público, dado que los recursos son siempre limitados y su origen proviene de la contribución económica de los ciudadanos, en época de crisis económica, el análisis económico-social de una inversión es una labor imprescindible. Por ello, tanto en esta tesis, como en González y Anna (2010), se pone de relieve la importancia de la evaluación en períodos de recesión.

No obstante, de forma análoga, se observa una coincidencia en los trabajos anteriormente expuestos en cuanto a la idea de la escasez de los recursos y la importancia que tiene la realización de evaluaciones de inversiones para, por un lado, evitar el despilfarro y, por otro lado, aumentar el bienestar social.

En ese aspecto, el trabajo de Ministerio de Fomento, CEDEX (2010) recoge la idea de que el sistema de transporte de una sociedad puede ser analizado desde dos puntos de vista; por un lado, puede verse como un conjunto de relaciones técnicas mediante las que se busca la manera más efectiva de utilizar los recursos productivos de los que dispone la sociedad para mover personas y mercancías entre distintos lugares y, por otro lado, se trata también de un conjunto de relaciones económicas cuya finalidad es que dichos movimientos se realicen además de la forma más eficiente, es decir, asignando esos recursos de manera que las personas que forman parte de dicha sociedad alcancen, en su conjunto, el máximo bienestar posible.

Otro factor común en esta tesis y en los estudios anteriormente señalados es la variable tiempo, ya que se evalúan proyectos de bienes duraderos en el tiempo, ya sean ferrocarriles, metros, tranvías, autopistas.

En línea con lo anterior, en cuanto al medio de transporte elegido para realizar la evaluación, hay estudios que también han optado por analizar la figura del metro ligero o tranvía como el realizado por Jordá y VVAA (2009) o Corporación Rehovot (2012) y cercano a este tipo de medio de transporte por la infraestructura, el ferrocarril, en especial, la alta velocidad, o el metro, tal es el caso de los trabajos de Inglada y de Rus (1993), Caride y González (2003), De Rus y Román (2006), Albalate y Bel (2011), De Rus (2011 y 2012), Segarra (2012), Sánchez-Ollero (2014), Thomson (2014) o Betancor y Llobet (2015).

Por otro lado, de la literatura revisada se observa igualmente interés en materia de transporte por los estudios sobre autopistas, por ejemplo, en Vergara y Robusté (2002), Baeza (2008), Albalate, (2012), Morán (2012) o Cisneros (2014).

Con carácter general en la revisión de los estudios en esta materia, la aplicación del ACB se suele regir por una serie de etapas más o menos comunes que permiten valorar y cuantificar su contribución al bienestar social desde el punto de vista de la eficacia y la eficiencia y, en algunos casos, de la equidad, por ejemplo, en Betancor y Valido (2009).

En ese sentido, en cuanto a la equidad, en la práctica del ACB es poco frecuente incluir ponderaciones que la incluyan, siendo más común que el sector público evaluador esté interesado en identificar, cuando sea pertinente, los grupos relevantes afectados, desagregando beneficios y costes por grupos y zonas geográficas, para que los responsables de tomar la decisión de acometer o no un proyecto tengan también las repercusiones distributivas que implica su ejecución (Ministerio de Fomento, CEDEX, 2010).

A la vista de la revisión de la literatura realizada, se puede concluir que el ACB es una buena metodología para aplicar en proyectos de transportes e infraestructuras, ya que contribuye a evaluar aspectos no sólo de tipo económico, sino también social y medioambiental.

Adicionalmente, como sucede en esta tesis, hay algunos trabajos que destacan especialmente la importancia que se otorga a la información sobre la demanda y su influencia en este tipo de proyectos como en De Rus y Román (2006) o De Rus (2011) o que realizan un análisis que contrasta varios medios de transporte, así sucede en González (2013).

En definitiva, con carácter general, los estudios concluyen que la evaluación socioeconómica de proyectos de transporte debe ser una prioridad a la hora de tomar decisiones de inversión en infraestructuras o en la red de transportes.

Así en el contexto actual, con niveles más elevados de dotación en infraestructuras y con mayor restricción presupuestaria es necesario introducir una mayor racionalidad en

las decisiones de inversión pública y para ello el análisis coste-beneficio debería aplicarse de manera más sistemática como criterio de decisión. (González y Matas, 2010).

3.4.Decisiones metodológicas para la aplicación empírica de la metodología del ACB tradicional a las concesiones de transporte público urbano

El análisis coste beneficio es una técnica de análisis que permite realizar la evaluación económica de proyectos expresando sus beneficios y costes en una unidad común, que incorpora la intensidad de las preferencias de los individuos en la sociedad con respecto a los bienes y servicios en un sentido amplio.

Estas preferencias se pueden expresar en valores monetarios ya que los economistas han desarrollado técnicas para medir estas preferencias en equivalencias monetarias (Ministerio de Fomento, CEDEX, 2010).

El objeto de este apartado es definir la construcción del modelo de ACB tradicional aplicado a las líneas de metro ligero de la Comunidad de Madrid: ML1 (Pinar de Chamartín-Sanchinarro-Las Tablas), ML2 y ML3 (Colonia Jardín-Pozuelo de Alarcón y Boadilla del Monte) y el tranvía de Parla, análisis empírico que se realizará en el apartado siguiente.

En particular, se van a pasar a detallar las decisiones tomadas para realizar el análisis empírico de las citadas líneas de metro, es decir, la descripción de las fases, la definición y obtención de los costes y los beneficios, el ajuste de los valores obtenidos para el análisis económico social que se va a realizar, los criterios de decisión empleados, el modo de cálculo de los resultados.

En primer lugar, en cuanto a las etapas que configuran el modelo de análisis coste beneficio que se va a presentar para las mencionadas líneas de metro ligero, señalar las siguientes:

Tabla 3.2. Etapas del Análisis Coste-Beneficio
1) Definición del proyecto: Objetivos de carácter económico-social que se pretenden alcanzar.
2) Estudio de posibles alternativas de alcanzar el proyecto.
3) Análisis del riesgo y de la incertidumbre. Especial referencia a la determinación de la demanda del proyecto.
4) Definición de los criterios de decisión.
5) Identificación y cuantificación de los costes y beneficios (sociales y no sociales).
6) Aplicación de precios sombra
7) Agregación de los costes y beneficios. Tasa social de descuento.
8) Cuantificación de los criterios de decisión.
9) Presentación de los resultados y toma de decisiones. Análisis de sensibilidad.

Fuente: Elaboración propia.

- 1) *Definición del proyecto: Objetivos de carácter económico-social que se pretenden alcanzar.*

Un proyecto de transporte puede definirse como una intervención sobre un mercado de transporte que altera el equilibrio que se habría obtenido en dicho mercado y en el resto de la economía si no se hubiera producido tal intervención (Ministerio de Fomento, CEDEX, 2010).

La realización de todo proyecto de transporte tiene sus efectos sobre el funcionamiento del mercado, por ejemplo, a través de la construcción o gestión de una infraestructura. En consecuencia, la evaluación de un proyecto de transporte irá dirigida a comparar los beneficios y costes del mismo para la sociedad.

2) *Estudio de posibles alternativas de alcanzar el proyecto.*

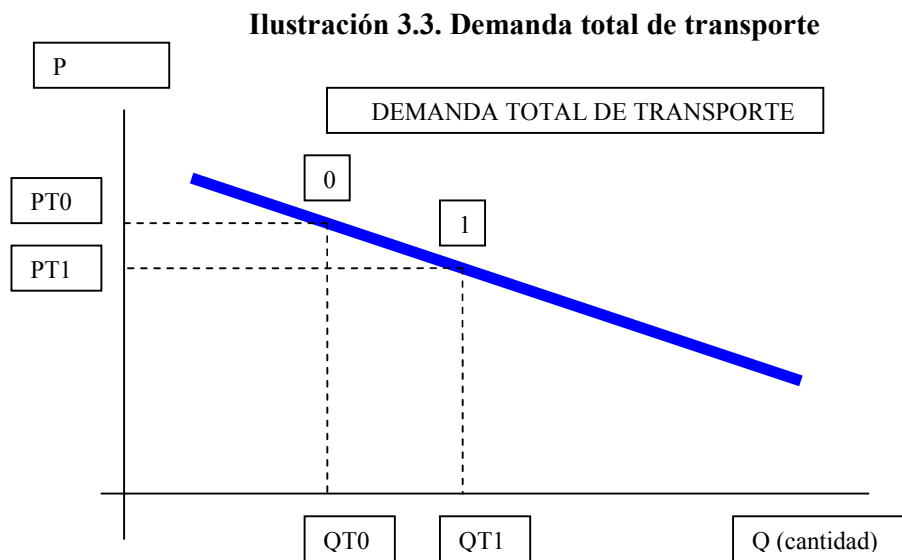
Frente al proyecto inicial que se pretende realizar, habrá que evaluar las diferentes alternativas relevantes identificadas en un diagnóstico inicial, ya que si no se consideran otras alternativas relevantes podría llevarnos a invertir en un proyecto que arrojarase una rentabilidad social positiva *ex ante* pero que no fuera la mejor solución al problema de transporte inicialmente planteado. El momento del tiempo en que decida realizarse ese estudio condicionará la definición del proyecto, así como el número e información que se dispone de las alternativas. Así, cuando se realiza una evaluación *ex ante*, el rango de posibles alternativas suele ser amplio pero la información con que se cuenta de ellas a menudo es reducida.

3) *Análisis del riesgo y de la incertidumbre. Especial referencia a la determinación de la demanda del proyecto.*

Tras la segunda etapa, se debería tener en cuenta el riesgo y la incertidumbre que se estima *a priori* podría generar el proyecto. El ACB se articula en función de lo que se estima ocurrirá en el futuro. Sin embargo, tales previsiones pueden estar afectadas de un nivel mayor o menor de incertidumbre. La aversión al riesgo devalúa los beneficios esperados en el futuro, en la medida en que tales beneficios queden afectados de la citada incertidumbre (Azqueta y Ferreiro, 1994). Por ejemplo, la situación política y/o económica de un país podría afectar la realización normal del proyecto.

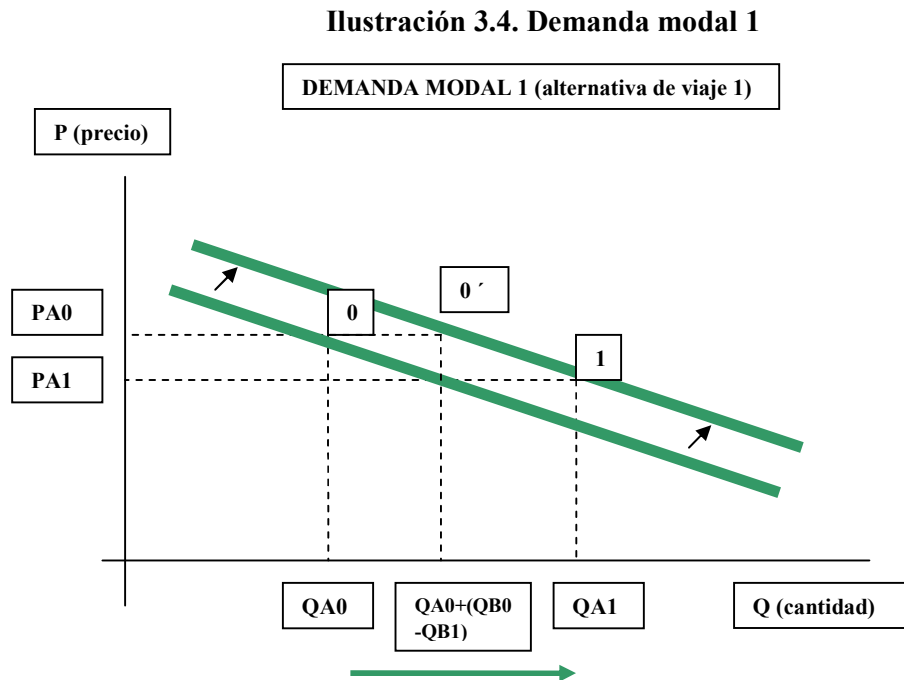
En este apartado y, en particular, en el caso de las concesiones de transporte público urbano, el nivel de demanda que se tome repercutirá de manera notable en los resultados finales. Una de las consecuencias inmediatas de la realización de un proyecto de transporte público urbano es la modificación del bienestar de los usuarios de este modo de transporte. Esto se debe a que, por un lado, los actuales usuarios alteran sus elecciones modales ante la presencia de una oferta modal competitiva. Ese colectivo conformará lo que se denomina demanda desviada.

Por otro lado, con la puesta en marcha del proyecto aparecerán individuos que alteran la cantidad de viajes por la incorporación del transporte público urbano a su oferta disponible. Este colectivo que conformará la demanda generada puede provenir tanto de los actuales usuarios del sistema que lo usan más (si el transporte público ya existían y el proyecto se trata de una mejora del ya existente), como de individuos que no viajaban en él hasta la fecha pero que, con la incorporación de la modalidad de transporte público urbano, pasan a tener utilidad positiva de viajar. A continuación, se van a representar gráficamente la demanda total de transporte público urbano bajo el supuesto simplificado de dos alternativas de viaje, así como la descomposición de la demanda total en demanda modal (las curvas de demanda de las 2 alternativas de viaje). En los ejes Y se representan los precios y en los ejes X las cantidades. En este sentido, se van a analizar los efectos derivados de la disminución del precio del viaje de una ellas. En primer lugar, este descenso del precio origina una reducción en el precio de la demanda total de transporte (paso de PT0 a PT1), y lo que sucede es un desplazamiento a lo largo de su curva de demanda (paso de 0 a 1). De esta forma, se produce un aumento de la cantidad demandada total de transporte público urbano (paso de QT0 a QT1). Se muestra en la siguiente ilustración:



Fuente: Caride y González, 2003.

Si ahora se descompone la demanda total de transporte en la demanda modal tenemos dos curvas de demanda para cada una de las alternativas de viaje, la más competitiva cuyo precio ha descendido (alternativa 1) y la menos competitiva como consecuencia de la reducción del precio de la anterior (alternativa 2):



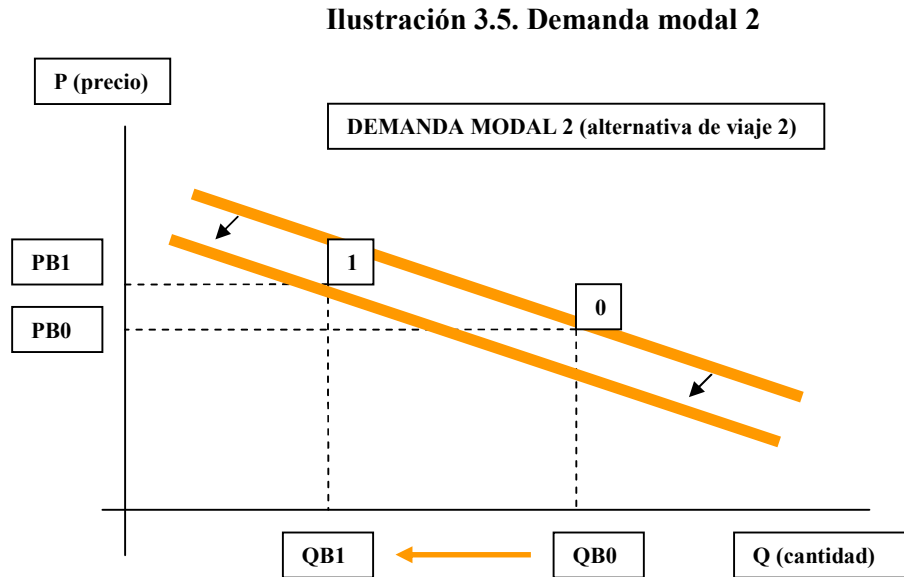
Fuente: Caride y González, 2003.

El efecto será que, la alternativa 1, al tener un precio más competitivo, los individuos será preferida a la alternativa 2, con lo que la curva de demanda de la alternativa 1 se desplazará hacia la derecha (paso de 0 a 1) disminuyendo el precio (de $PA0$ a $PA1$) y aumentando la cantidad de demandada (de $QA0$ a $QA1$).

Sin embargo, por la misma razón, la curva de demanda de la alternativa 2 se desplazará hacia la izquierda (paso de 0 a 1) aumentando su precio (de $PB0$ a $PB1$) y disminuyendo su cantidad de demandada (de $QB0$ a $QB1$). De esta forma, la cantidad de viajes que se realizarán en la alternativa 1 tras la bajada de su precio ($QA1$) estaría compuesta por los

anteriores usuarios de este modo de transporte (QA_0), los nuevos viajes generados (QA_1-QA_0) y los usuarios desplazados de la alternativa 2 (QB_1-QB_0).

A continuación se muestran ambas alternativas:



Fuente: Caride y González, 2003.

En conclusión, la obtención de los valores de demanda es un punto clave ya que afectará al resto del análisis posterior. De hecho, los datos de demanda son uno de los condicionantes para construir o no un proyecto, ya que muestra la necesidad de invertir en determinadas infraestructuras bajo, entre otros aspectos, la existencia un alto volumen de tráfico en la zona donde se vaya a construir (De Rus, 2011).

En el caso de esta tesis doctoral se han considerado datos anuales de demanda estimada (modelo inicial) y de demanda real disponibles (modelo con variante). Respecto a la demanda real, la base de datos se ha elaborado a partir de los documentos del Consorcio Regional de Transportes de Madrid y los correspondientes a la demanda estimada se han tomado de los estudios de viabilidad realizados para cada una de las líneas de metro ligero de la Comunidad de Madrid. Para la estimación de la demanda, los estudios de viabilidad parten de un análisis de las características socioeconómicas de la zona, así

como del planeamiento urbanístico de la región, realizando la estimación en base al análisis de la Encuesta Domiciliaria de Movilidad (EDM) del Consorcio Regional de Transportes de Madrid que incluye una caracterización de la movilidad en función del objeto de los viajes y el medio de transporte utilizado, del análisis de oferta de transporte público de la región (cercanías, metro, autobuses), de la demanda de los distintos medios de transporte público que ofrecen servicio en la zona, así como del resultado de encuestas realizadas a usuarios de transporte público.

4) Definición de los criterios de decisión

Con carácter previo a la determinación de los criterios de decisión, conviene tener en cuenta diferentes conceptos que, *a priori*, pueden confundirse. El precio y el valor de un proyecto o actividad no tienen por qué coincidir. El primero hace referencia a lo que el consumidor paga, mientras que el valor incluye la disposición a pagar. Asimismo, el coste se mide en términos de coste de oportunidad, entendido como el beneficio al que se renuncia por acometer un determinado proyecto en lugar de otros. En cuanto al valor social y privado de un proyecto también pueden darse diferencias en el caso en que existan beneficiarios ajenos al mercado analizado.

El análisis coste beneficio calcula el valor monetario del bienestar, con el consiguiente establecimiento de los criterios de decisión para comparar proyectos y elegir el más conveniente. Por ejemplo, con la comparación del ratio beneficio/subvención con precio sombra de los fondos públicos se llega a la conclusión de que el proyecto es socialmente deseable, si el primero es mayor.

No obstante, esta decisión es irrelevante como criterio de selección, ya que lo que importa es el beneficio marginal, no el medio (De Rus, 2004).

Para tomar la decisión de realizar o no un proyecto existen diversos indicadores de rentabilidad. Los criterios de decisión más significativos y que se utilizarán en el análisis empírico del apartado siguiente son:

Tabla 3.3. Criterios de Decisión
VAN Económico-Social
TIR Económico-Social
VAN Beneficios
VAN Costes
Ratio Coste Beneficio

Fuente: Elaboración propia.

Una vez actualizados los sucesivos flujos de caja, sumándolos a lo largo de todo el período considerado y restando la inversión de capital realizada, obtendremos el VAN (Valor Actual Neto) que nos da el balance final de beneficios netos, con valores actualizados. La regla general de decisión del VAN vendrá determinada por:

$$[g \cdot B - C] / [1 + s]^t$$

Siendo:

C y B son los costes y beneficios, directos e indirectos.

g precios sombra.

s es la tasa social de descuento.

t período de tiempo considerado.

Otro índice que permite valorar la rentabilidad de una inversión es la llamada TIR (Tasa Interna de Retorno), que, en síntesis, refleja el tipo de interés al que podría retribuirse el dinero invertido en el proyecto. La TIR es la tasa en la que el VAN se hace cero. En este caso si la TIR es superior a la tasa de descuento el balance coste-beneficio resultará positivo, y negativo en caso contrario.

El VAN beneficios indica los flujos actualizados derivados de los beneficios que reportan las externalidades relativas al proyecto y el VAN costes los referentes a los costes asociados al mismo.

El ratio coste beneficio, obtenido por cociente entre VAN beneficios y VAN costes nos indicará si los flujos de caja cubren o no la inversión.

5) Identificación y cuantificación de los costes y beneficios (sociales y no sociales).

En esta etapa, conviene diferenciar entre los beneficios y costes directos de los indirectos. En la evaluación económica se consideran tanto unos como otros.

Los de carácter directo son aquellos directamente identificables y atribuibles a un objetivo (o agente económico) de beneficio o coste determinado. Esta identificación directa entre el beneficio o el coste y su objetivo debe poder hacerse por medio del sentido común, mediante una simple observación, o de una forma técnica, siempre que la identificación sea inequívoca y económicamente factible. En ese caso, los beneficios son los ingresos y los costes están formados por el pago de los *inputs* a precios de mercado.

Por el contrario se entiende beneficios o costes indirectos como aquellos que no son identificables con un solo objetivo de beneficio o coste. No es posible establecer de una forma directa qué cantidad de beneficio o coste es atribuible a un objetivo determinado. Sólo pueden ser repartidos a los objetivos que los causan de forma indirecta mediante algún método de reparto.

En definitiva, se deben considerar, no sólo los costes y beneficios que afectan directamente a la empresa u organización que pretende realizar el proyecto, sino también los costes y beneficios que indirectamente afecten a los consumidores, usuarios, en definitiva, a la sociedad en su conjunto. Adicionalmente, la cuantificación de los beneficios y costes tanto sociales como no sociales debe ser puesta en términos monetarios de manera homogénea.

Respecto de los beneficios de un proyecto de transporte público urbano se incluirán aquellos que producen cambios positivos en el bienestar social. En este punto, entrarían en juego las externalidades a que dé lugar el proyecto. En la presente tesis doctoral, se han tenido en cuenta las siguientes: el ahorro de tiempo, redundando en una menor congestión, la reducción del coste ambiental en términos de contaminación atmosférica, la disminución de la contaminación acústica y de los accidentes. A continuación se profundizará en las externalidades enunciadas. Todas estas externalidades que se han tenido en la aplicación práctica de esta tesis doctoral, serán desarrolladas en el apartado *ut infra* 3.5 relativo a las decisiones metodológicas, en el que se analiza en profundidad su forma de cálculo así como los resultados obtenidos para cada externalidad.

Tabla 3.4. Beneficios. Externalidades del Proyecto de Transporte Público Urbano
Ahorro de tiempo
Coste ambiental
Contaminación acústica
Coste Accidentes

Fuente: Elaboración propia.

a) Valoración del tiempo y congestión

El valor del tiempo suele considerarse un coste de oportunidad. El valor monetario que se le otorga ha sido tradicionalmente el salario perdido si dicho tiempo se hubiese empleado en trabajar.

En el caso del tiempo del trabajo, el valor del tiempo es el salario bruto. En el ocio, si ya se está disfrutando, la reducción del tiempo no tiene valor para el sujeto, si por el contrario, se está desplazando para llegar a su lugar de descanso, el valor del tiempo es igual al salario más la utilidad marginal del tiempo empleado en trabajar (positiva o negativa) menos la utilidad marginal del tiempo de viaje. La decisión de tomar el

transporte público dependerá de la utilidad que reporte la elección, optando por él, siempre que el beneficio sea mayor que el coste de utilizarlo (De Rus, 2004).

Respecto a la congestión tiende a crecer a medida que la infraestructura se acerca a su capacidad máxima, conforme aumenta el nivel de vida (generalmente asociado a una mayor compra de vehículos, si se trata de una carretera), desarrollo urbano de la periferia, etc. El coste económico de la congestión es el retraso adicional causado por la incorporación de un vehículo adicional en el tráfico, teniendo en cuenta la velocidad media de tránsito. Sin embargo, es un coste marginal de evaluación compleja. Para el cálculo de la congestión se deben convertir los diferentes medios de transporte, zonas y horas en unidades equivalentes, por ejemplo, pasajeros coche equivalentes o pasajeros-km. En general, dado que la congestión es un mayor coste que se repercute al resto, puede concretarse en un coste unitario por vehículo que aumenta conforme el tráfico es más intenso, ya sea por el momento o la zona de tránsito. Pero este coste depende no solo de factores técnicos, como el tiempo de desplazamiento o el consumo de recursos, sino de la valoración subjetiva que los usuarios de las infraestructuras hagan del tiempo.

Para la medición de la valoración del tiempo y de la congestión se puede emplear el número de viajes-km/año y valor/hora del viaje en términos salariales, criterio seguido en el análisis empírico de esta tesis doctoral.

b) Contaminación atmosférica

La contaminación atmosférica se refiere a los daños causados por las emisiones de los vehículos motorizados. Algunos de estos daños son a nivel global como es el caso del dióxido de carbono (CO₂) y el metano (CH₄) que afectan al cambio climático. Otros daños suelen afectar más a nivel regional producidos por hidrocarburos (HC), óxido nitroso (NO_x), óxidos de azufre (SO_x) y ozono (O₃) que son perjudiciales para la salud humana. Finalmente hay daños a nivel local producidos por el monóxido de carbono (CO) y el polvo ocasionado por el tráfico que también supone un riesgo para la salud.

El coste por emisión de contaminantes depende de varios factores, entre otros destacamos: tipo de combustible, tipo y antigüedad del vehículo, lugar, velocidad y temperatura del motor de conducción, densidad de la población y climatología. En cualquier caso, la contaminación atmosférica es un input en el modelo, puesto que los efectos sobre el medio ambiente son un input, ya que cambios en el medio ambiente originan modificaciones en el output (Hanley y Barbier, 2009).

En la aplicación práctica del apartado siguiente, se utilizará el coste social de polución por vehículo-km, es decir, el coste social en función del número de kilómetros recorridos en un período de tiempo determinado, ya sea, por ejemplo, por un vehículo privado o un autobús¹⁴.

c) Ruido

La intensidad de este tipo de contaminación afecta especialmente a los individuos de las grandes urbes. El transporte, ya sea público o privado, contribuye al aumento de los decibelios y repercute sobre un determinado núcleo de población. Para la determinación del coste social del ruido, además de tener en cuenta la población aceptada por el proyecto se ha de considerar el coste del ruido por viajero del medio de transporte en cuestión.

En ese sentido, entre los métodos para su medición y, en uno de cuyos estudios (Bickel et al., 2006; vid. Ministerio de Fomento, CEDEX, 2010) se ha acudido en esta tesis doctoral, está la metodología de precios hedónicos, que tiene en cuenta la disposición a pagar por reducir molestias causadas por el ruido. La elección del método de precios hedónicos en la valoración del ruido en esta tesis, se debe a que permite dar un precio a la percepción que tienen los individuos del mismo¹⁵. A tales efectos, se procede a realizar una breve referencia de esta metodología.

¹⁴ Para calculo y variables que influyen en los vehículos-km, vid. apartado 2.5 *ut infra*.

¹⁵ Para mayor detalle de valores de precios hedónicos para la variable ruido aplicados en esta tesis vid. apartado 2.5 *ut infra*.

Su formalización definitiva se produjo por Sherwin Rosen en un artículo publicado en 1974 en *Journal of Political Economy*. Con los precios hedónicos se estima el precio implícito que los individuos damos a determinados efectos mediante nuestras elecciones en la adquisición de un bien u otro. Por ejemplo, al adquirir una vivienda más barata por estar ubicada más cerca de la huella de ruido de los aviones en los alrededores de un aeropuerto, revelamos algo sobre nuestra valoración del ruido extra que vamos a soportar. Si se observan múltiples transacciones, se puede estimar por regresión el valor implícito del nivel de ruido (Rosen, 1974). El método de los precios hedónicos tiene diversas aplicaciones prácticas, así permite el cálculo en relación con índices, en vivienda (Tyrväinen y Mettinen, 2000; Bond et al. 2002), o en automóviles (Atkinson y Halvorsen, 1984; Azqueta, 1994; Wilhelmsson, 2000).

d) Accidentes

La utilización del transporte lleva siempre aparejado un riesgo de sufrir algún tipo de accidente, ya sea por fallos mecánicos o humanos. Sin embargo, parece que existe un consenso para realizar una evaluación sobre cuál es el modo de transporte con menor probabilidad de accidente.

Si un usuario de un medio de transporte tuviera un accidente, además del coste asociado a la probabilidad de tener un accidente habría que tener en cuenta los que se trasladan a la sociedad y al resto de los individuos. Para estudiar los costes relativos a los accidentes se pueden tener en cuenta los costes derivados de la pérdida de la vida, denominado en genérico, valor de una vida estadística, más los costes directos (traslados, funerarios, etc) que deben asumir los familiares de la víctima. (Ministerio de Fomento, CEDEX, 2010). La valoración monetaria de estas variaciones en el nivel de riesgo suele realizarse analizando los intercambios que los individuos hacen entre pequeñas modificaciones en el nivel de riesgo y su disposición a pagar o a ser compensados, ya sea en mercados reales o hipotéticos. Existen diversos métodos para

estimar el valor estadístico de una vida, entre otros, los precios hedónicos, la valoración contingente o el coste social en términos de vehículo-km.

En el apartado siguiente de esta tesis doctoral la valoración de los accidentes se ha calculado mediante el coste social de accidentes por vehículo-km¹⁶.

Por otro lado, los costes de un proyecto de transporte están asociados tradicionalmente al proceso de construcción, operación y mantenimiento de la nueva infraestructura.

Los *costes de construcción* están vinculados con la inversión, tanto inicial como de reposición¹⁷. Los *costes de operación* están relacionados con el funcionamiento habitual de las infraestructuras, vehículos y otros activos dentro de los mercados de transporte. Aunque también pueden tener componentes fijos, una parte de los costes de operación es proporcional a la demanda y, al contrario de lo que ocurre con los costes de inversión, se realiza a lo largo de la vida del proyecto al igual que ocurre con los de mantenimiento. Los *costes de mantenimiento* son los necesarios para que las infraestructuras, vehículos y resto de activos se encuentren en condiciones apropiadas de operación durante la vida del proyecto. Su cuantía varía con cada tipo de activo y sus características técnicas. Las decisiones sobre costes de mantenimiento se reflejan en la vida útil de los activos y, en general, en sus condiciones de funcionamiento (Ministerio de Fomento, CEDEX, 2010).

Los tipos de costes que se han tenido en cuenta para la aplicación práctica del ACB en este trabajo se sintetizan en la tabla mostrada a continuación, ya que de forma más completa se detallarán en el apartado siguiente. No obstante, indicar que los costes y valores de las inversiones se han tomado de los estudios de viabilidad realizados para cada una de las líneas de metro ligero de la Comunidad de Madrid, calculados en base al coste y vida útil de cada uno de los elementos que integran los costes de construcción,

¹⁶ Para forma de cálculo y factores de que depende el coste social de accidentes por vehículo-km, vid. apartado 2.5 *ut infra*.

¹⁷ La inversión de reposición hace referencia a los bienes de capital ya depreciados. Su finalidad es reponer los bienes de capital que se desgastan durante el proceso de producción.

operación y mantenimiento, así como en base a los costes análogos de contratos de concesiones de infraestructuras ya existentes.

Tabla 3.5. Costes asociados al Proyecto de Transporte Público Urbano. Total Flujos de inversión y explotación.
Costes de construcción
Inversión inicial
Inversiones de reposición
Costes de operación y mantenimiento

Fuente: Elaboración propia.

6) *Aplicación de precios sombra*

Es el precio de referencia que tendría un bien en condiciones de competencia perfecta, incluyendo los costes sociales y los privados. Representa el coste de oportunidad de producir o consumir un bien o servicio, aun cuando éstos no sean intercambiados en el mercado o carezcan de un precio de mercado.

Un bien o servicio puede no tener un precio de mercado, sin embargo, siempre es posible asignarle un precio sombra, que permita hacer un análisis de coste-beneficio y cálculos de programación lineal.

Si el precio de mercado es una buena aproximación del coste de oportunidad de un recurso se toma para su valoración. Sin embargo, el precio de mercado de un proyecto no siempre refleja su coste de oportunidad. El precio corregido es un precio sombra.

Existen diversas formas de calcular los precios sombra, por ejemplo, mediante la estimación de los multiplicadores de Lagrange o a través de la regla de Ramsey.

En cuanto a los multiplicadores de Lagrange, se considera un proyecto público mediante un vector X (X_1, X_2, \dots) de inputs y outputs con valores determinados. Definimos también una función objetivo $F(x)$, donde el óptimo el vector es x' . Las restricciones $G(x)=c'$ recogen la disponibilidad de recursos.

Se trata de un problema de optimación con restricciones, que podrán ser de igualdad o desigualdad. El multiplicador de Lagrange asociado a las restricciones determina los precios sombra.

A continuación se va a hallar el valor máximo de la función $F(x)$:

$$V=F(x')$$

La diferencial de V y el Langrangiano (L) son igual a:

$$dV = \frac{\delta F(x')}{\delta x_1} dx_1 + \frac{\delta F(x')}{\delta x_2} dx_2$$

$$L= F(x) + \lambda (c-G(x'))$$

Teniendo en cuenta las condiciones de primer orden y sustituyendo por su valor:

$$\delta F / \delta \bar{x}$$

$$dv = \left(\lambda \frac{\delta G}{\delta x_1} \right) dx_1 + \left(\lambda \frac{\delta G}{\delta x_2} \right) dx_2 = \lambda \left[\frac{\delta G}{\delta x_1} dx_1 + \frac{\delta G}{\delta x_2} dx_2 \right]$$

Ahora bien lo que está comprendido entre corchetes en el segundo término de la igualdad es A . En consecuencia: $dv=\lambda A$ con lo que $\lambda = dv/A$.

El multiplicador de Lagrange nos dice los cambios que se producen en la función objetivo ante un cambio marginal en los parámetros de las restricciones. Por otro lado, los precios sombra se pueden calcular mediante la regla de Ramsey. Permite fijar precios en casos, como por ejemplo, las empresas públicas, que no pueden igualar el precio al coste marginal porque incurrirían en pérdidas debido a las restricciones

presupuestarias que presentan. Así, la regla de Ramsey señala que el Estado puede fijar precios superiores al coste marginal e inversamente proporcionales a la elasticidad precio de la demanda del bien analizado.

Asimismo, los precios sombra se pueden obtener mediante la corrección del precio mercado. Esta corrección se realiza a través de un factor de conversión, método que va a ser aplicado en la determinación de los costes en el estudio práctico de esta tesis doctoral.

En concreto, los factores de conversión que se han considerado se basan en una metodología que utiliza técnicas input-output, denominado método semiinput-output (SIO)¹⁸. El factor de conversión es el cociente entre el precio sombra y el precio de mercado.

En particular para la presente tesis doctoral, los costes del metro ligero, del autobús y del vehículo privado son precios de mercado.

Por ello, para ajustarlos y ponerlos en términos sociales, se ha de obtener su correspondiente precio sombra.

En consecuencia, se han tomado los factores de conversión para el cálculo de los costes de construcción, operación y mantenimiento del metro ligero y del autobús y costes de operación del vehículo privado, que son los costes que se han tenido en cuenta en el modelo para cada tipo de transporte.

7) Agregación de los costes y beneficios. Tasa social de descuento

Una vez identificados y cuantificados los costes y beneficios, en el ACB hay que agregar en una única dimensión los beneficios y costes y del proyecto. La

¹⁸ La denominación semi-input-output tiene que ver con que el método no emplea toda la información contenida en una tabla input-output convencional, sino únicamente dos de sus submatrices, concretamente la de demanda intermedia y la de inputs primarios. (Souto, 2001).

homogeneización que implica el descuento permite comparar la renuncia al consumo presente que significa la inversión inicial de un proyecto con la corriente de beneficios netos que se produce a lo largo de la vida del mismo (De Rus, 2008).

Desde un punto de vista exclusivamente privado, el descuento que se aplica es la tasa financiera, estimando el tipo de interés al que el agente privado puede endeudarse o prestar dinero en las entidades financieras.

Sin embargo, cuando se trata de actividades públicas que afectan a la sociedad, la determinación de la tasa de descuento es más compleja, puesto que es una tasa de carácter social.

En ese sentido, la tasa social de descuento mide el coste efectivo para la sociedad de utilizar capital en una inversión. Se emplea para descontar los beneficios y los costes futuros de un proyecto de inversión pública y convertirlos en valores presentes. Permite determinar si un proyecto debe o no acometerse y comparar con otros proyectos, cuyos flujos tienen estructuras temporales distintas y así establecer un ranking de prioridades de inversión cuando los recursos disponibles son escasos.

Dado que un proyecto de inversión pública absorbe recursos sociales, existe un coste de oportunidad, en términos de los recursos o actividades a los que se ha de renunciar por realizar un determinado proyecto público.

Por ello, el coste del capital asociado a la tasa social de descuento va a depender de la productividad marginal de la inversión y de la tasa de preferencia intertemporal del consumo. En definitiva, mide el coste social por renunciar a una inversión y consumo privados para realizar el proyecto público.

Las teorías que tradicionalmente han recibido mayor atención en la literatura sobre el descuento social han sido especialmente dos, la de la preferencia social temporal y la del coste de oportunidad del capital.

La teoría de la preferencia social temporal considera que la tasa social de descuento adecuada para la evaluación de inversiones públicas es la denominada tasa social de preferencia temporal (TSPT), que indica como disminuye en el tiempo el valor del consumo para la sociedad.

En este trabajo, se han empleado las TSPT, cuyos valores se han tomado de un estudio de Guadalupe Souto (Souto, 2001).

8) Cuantificación de los criterios de decisión.

Tras la obtención de los flujos de costes y beneficios y la aplicación de los precios sombra, la siguiente fase sería aplicar los criterios de decisión que se consideren oportunos utilizar¹⁹.

9) Presentación de los resultados y toma de decisiones. Análisis de sensibilidad.

En los proyectos consistentes en la evaluación económica de una única alternativa *ex ante*, la única decisión relevante es la de aceptar o rechazar el proyecto, esto es, decidir si el proyecto – en las condiciones planteadas – debe ser acometido o no por la sociedad.

En otros casos, la decisión a tomar consiste en la comparación de dos o más proyectos que compiten por la misma financiación. Aunque el tipo de decisión a tomar depende de las circunstancias del proceso de evaluación y de las características de los proyectos, corresponde al evaluador determinar explícitamente la manera en la que desea internalizar la incertidumbre asociada a la evaluación dentro de los criterios de decisión. En general, dispone de tres posibilidades: (Ministerio de Fomento, CEDEX, 2010).

¹⁹ Vid. *ut supra* “Definición de los criterios de decisión”.

- No considerar la existencia de incertidumbre. En este caso, se deben formular criterios de decisión sin incertidumbre basados en valores deterministas que permitan adoptar las decisiones pretendidas.

Esta aproximación puede ser razonable en proyectos donde la magnitud de la incertidumbre sea reducida, o bien el riesgo de equivocarse sea mínimo o tenga un coste bajo para el evaluador.

- Incorporar la incertidumbre mediante análisis de sensibilidad. Se trata de una opción intermedia, en la que la decisión se toma con criterios deterministas, pero se considera la posibilidad de que los resultados de la evaluación varíen al modificarse determinados parámetros de la misma.

El evaluador repite su análisis con los distintos valores posibles de dichos parámetros (incluso definiendo escenarios alternativos donde varían múltiples parámetros), considerando únicamente cambios parciales en los mismos.

Aunque la riqueza de la información obtenida así es mayor, podría conducir a una falsa sensación de certeza, ya que el procedimiento ignora la posibilidad de que muchos de los cambios sucedan de manera simultánea y correlacionada.

- Incorporar la incertidumbre en las herramientas de decisión. En este caso, se deben formular criterios de decisión con incertidumbre. Esta tercera posibilidad es la más completa pero también la que requiere mayor información.

Se trata de considerar, por ejemplo, que el VAN social consiste en realidad en distribuciones de probabilidad sobre dichos valores, por lo que la decisión debe tomarse en función de las propiedades de dichas distribuciones.

En la presente tesis doctoral, se aplican las tres posibilidades anteriores en distintas fases con lo que se presenta un análisis completo.

La primera fase sería, el ACB elaborado con los modelos construidos el inicial (demanda estimada) y modelo con variante (con efecto de la demanda real), la segunda, la aplicación del análisis de sensibilidad que en esta tesis se realiza a partir de variaciones en la demanda y, por último, la incorporación de incertidumbre, que se introduce en capítulo posterior aplicando la simulación Montecarlo.

3.5. Aplicación empírica de la metodología del ACB tradicional a las concesiones de transporte público urbano: las líneas de metro ligero en la Comunidad de Madrid

3.5.1. Introducción

El análisis empírico que se va a realizar versará sobre las líneas de metro ligero de la Comunidad de Madrid, es decir, las líneas ML1 (Pinar de Chamartín-Sanchinarro-Las Tablas), ML2 y ML3 (Colonia Jardín-Pozuelo de Alarcón y Boadilla del Monte) y el tranvía de Parla.

A diferencia del análisis económico-financiero con demanda estimada para cada línea en concreto realizado en los estudios de viabilidad de cada las citadas líneas de metro ligero, en esta tesis doctoral, para cada una de ellas se va a elaborar un **análisis coste beneficio económico social (ACB) en términos relativos con dos modelos diferentes**, uno **inicial** con demanda estimada y un **modelo con variante** en el que se tiene en cuenta el efecto de la demanda real que se dispone a fecha de terminación de esta tesis doctoral. También se va a proceder a realizar el consiguiente **análisis de sensibilidad** que consistirá en variar en determinados porcentajes el valor de la demanda estimada para comprobar cómo afecta esta modificación a los resultados de los criterios de decisión.

A continuación se describe el proceso que se ha seguido en la aplicación del ACB para estas líneas de metro ligero.

1) *Definición del proyecto.*

El objetivo del metro ligero consiste en ofrecer un medio de transporte que beneficie no sólo a los que lo usan sino al conjunto de la sociedad, en la medida en que haga menos ruido, contamine menos o dé lugar a una menor congestión.

2) *Estudio de posibles alternativas al proyecto.*

El estudio de otras opciones va implícito en el ACB, ya que compara la construcción del metro ligero con otro medio de transporte. En concreto se plantean dos supuestos: el metro ligero Vs la utilización del autobús y el metro ligero frente al empleo del vehículo privado.

3) *Análisis del riesgo y de la incertidumbre. Especial referencia a la determinación de la demanda del proyecto.*

En el **modelo inicial**, se va a utilizar la demanda estimada que se ha tomado de los estudios de viabilidad realizados por organismos públicos para cada una de las líneas. Es una demanda anual, que hace referencia al número de viajes realizados al año, cuya fórmula de cálculo se ha señalado en el apartado precedente²⁰. En ese sentido, los valores de la demanda anual estimada para cada línea son:

²⁰ Ante la falta de datos de demanda del año 2037 para las líneas ML2 y ML3 en su estudio de viabilidad, se ha considerado un crecimiento vegetativo del 0% dado que se trata del último año de la concesión y debido también a la extensión de la proyección de demanda.

Tabla 3.6. Demanda Anual Estimada. Líneas: ML1, ML2 y ML3, Tranvía de Parla											
AÑO	ML1	ML2 y ML3	Tranvía Parla	AÑO	ML1	ML2 y ML3	Tranvía Parla	AÑO	ML1	ML2 y ML3	Tranvía Parla
2007	1.908.286	6.384.285	1.962.151	2018	6.084.511	17.452.397	5.590.275	2029	7.565.356	20.300.467	6.984.877
2008	3.148.712,25	9.906.313.5	2.885.382	2019	6.205.841	17.692.517	5.730.032	2030	7.716.534	20.583.291	7.089.651
2009	4.534.000	13.663.734	3.947.155	2020	6.330.377	17.936.220	5.844.633	2031	7.870.940	20.870.380	7.195.995
2010	4.806.487	14.135.071	4.393.588	2021	6.456.807	18.183.561	5.961.526	2032	8.028.305	21.161.802	7.303.935
2011	5.094.591	14.623.005	4.541.504	2022	6.585.927	18.434.599	6.080.756	2033	8.188.898	21.457.628	7.413.494
2012	5.298.493	15.128.133	4.694.439	2023	6.717.737	18.689.394	6.202.371	2034	8.352.719	21.757.926	7.524.697
2013	5.457.472	15.651.072	4.852.564	2024	6.852.237	18.948.004	6.326.419	2035	8.519.768	22.062.772	7.637.567
2014	5.621.024	16.192.463	5.014.046	2025	6.988.894	19.210.492	6.452.947	2036	8.690.337	22.372.236	7.752.131
2015	5.733.466	16.752.970	5.157.942	2026	7.129.038	19.476.919	6.582.006	2037	8.863.819	22.372.236	7.868.413
2016	5.848.329	16.982.678	5.303.856	2027	7.271.340	19.747.347	6.713.646				
2017	5.964.817	17.215.802	5.453.927	2028	7.416.868	20.021.841	6.847.919				

Fuente: Estudios de Viabilidad (2006): Línea de Metro Ligero desde Pinar de Chamartín a Sanchinarro –Las Tablas, 2007, líneas de Metro Ligero desde Colonia Jardín a Pozuelo de Alarcón y desde Colonia Jardín a Boadilla de Monte 2007 y del Tranvía del Parla 2007.

Adicionalmente, la exactitud de las estimaciones tiende a mejorar con el tiempo si la economía crece. La causa de ello es el denominado efecto “ramp up” (Bain, 2009). Durante los primeros años de explotación de una infraestructura, la demanda de la misma suele ser menor porque los usuarios necesitan un período de tiempo para familiarizarse con ella y conocer su efecto en la red. El período de ramp up es el tiempo que transcurre desde la entrada en servicio de la infraestructura hasta que la demanda se consolida por completo. Los estudios de viabilidad de las líneas que se van a analizar (ML1, ML2 y ML3 así como Tranvía de Parla) han considerado oportuno aplicar un efecto ramp up para los dos primeros años de la concesión. De manera que se aplica un porcentaje sobre la demanda de los años 2007 y 2008.

En esta tesis en concreto, y dado que el análisis que se realiza se considera desde el inicio y puesta en funcionamiento de las líneas de metro ligero, se va a aplicar por las razones apuntadas un ramp up para los primeros años, tal y como también se señala en los estudios de viabilidad de estas líneas. En concreto, se va a emplear, al igual que presentan tales estudios de viabilidad, para las líneas ML1, ML2 y ML3 un ramp up del 50% para 2007, del 75% para 2008 y un 100% para 2009 y siguientes. Mientras que en el caso del Tranvía de Parla su estudio de viabilidad ofrece ramp up del 70% para el primer año, un 85% para el segundo y un 100% para el tercer año y sucesivos.

Tabla 3.7. Ramp-up Líneas ML1, ML2 y ML3, Tranvía de Parla			
	Año 1	Año2	Año3 y siguientes
Ramp-up ML1, ML2 y ML3	50%	75%	100%
Ramp-up Tranvía de Parla	70%	85%	100%

Fuente: Estudios de Viabilidad (2006): para la nueva Línea de Metro Ligero desde Pinar de Chamartín a Sanchinarro –Las Tablas, 2007, para las nuevas líneas de Metro Ligero desde Colonia Jardín a Pozuelo de Alarcón y desde Colonia Jardín a Boadilla de Monte 2007 y del Tranvía del Parla 2007.

Asimismo, la propia Comisión Europea ha reconocido la importancia en un ACB, tanto de la demanda estimada, como de la demanda real (European Commission, 2014). Por ello, en esta tesis doctoral también se ha construido un modelo al que se ha denominado **modelo con variante**, en el que se ha introducido el efecto de la demanda real de los

años conocidos en la fecha de terminación de esta tesis doctoral. Los datos de demanda real de que se disponían en dicha fecha para cada una de las líneas de metro ligero de la Comunidad de Madrid van desde el año 2007 a 2013. De manera generalizada, se observa una menor demanda real respecto a la estimada. En ese sentido, se ha calculado la variación promedio anual aplicada a partir del 2014.

En concreto, para la línea ML1 la demanda real es un 87,09% en promedio de la estimada, para las líneas ML2 y ML3 conjuntamente el descenso ha sido el más significativo, puesto que la demanda real supone un 41, 22% de media respecto a la estimada y finalmente, el Tranvía de Parla, la disminución en promedio ha sido la menor, la demanda real es un 91,15% de la estimada²¹.

4) Definición de los criterios de decisión.

Los criterios de decisión que se han utilizado en este análisis empírico han sido: VAN, TIR , VAN costes, VAN beneficios y ratio coste-beneficios. Al tratarse de un análisis que no es estrictamente financiero estos criterios se expresan en términos económico-sociales²².

5) Identificación y cuantificación de los costes y beneficios (sociales y no sociales).

Respecto a los beneficios y costes que reporta la construcción de una línea de metro ligero, en la evaluación económica social del ACB no se tienen en cuenta aquellos que constituyen una transferencia entre el concesionario y el sector público. En ese sentido, no se contabilizarán como beneficios y costes, los ingresos derivados de las subvenciones otorgadas por una Administración al concesionario ni los impuestos que a este le correspondiera pagar (European Commission, 2014).

Por el contrario, sí se han de tener en cuenta como así ha sido, los beneficios sociales (Betancor y Llobet, 2015) derivados de efectos producidos por el metro ligero a terceros, es decir, externalidades que las líneas de metro ligero ocasionan y los costes asociados a la inversión, la explotación y el mantenimiento de las citadas líneas, pero al

²¹ Datos de demanda real obtenidos a partir de los Informes, Memorias y publicaciones del CRTM 2007 a 2013, fecha de dichos documentos disponibles en el momento de terminación de esta tesis doctoral.

²² Para mayor abundamiento vid. *ut supra* apartado 2.4.

ser una evaluación económica social estos costes se han expresado mediante precios sombra calculados en esta tesis doctoral, para mostrar el coste de oportunidad.

En concreto, se han considerado las siguientes externalidades: el ahorro de tiempo, la contaminación ambiental, la contaminación acústica y el coste de los accidentes. En todos los casos, al ser un ACB comparativo los saldos obtenidos de cada externalidad son fruto de la diferencia de la obtenida para el tranvía respecto a la resultante del supuesto del vehículo (o autobús). Cada uno de los beneficios considerados viene influido por una serie de variables, las cuales se han tenido en cuenta para su cálculo y se resumen en la tabla siguiente:

Tabla 3.8. Externalidades			
Ahorro de tiempo	Contaminación ambiental	Contaminación acústica	Coste Accidentes
Longitud del viaje	Vehículos-kilómetro Tranvía	Población área de influencia	Vehículos-kilómetro Tranvía
Velocidades comerciales	Vehículos-kilómetro Veh. Priv o autobus	Coste ruido por viajero Vehículo Privado (o Autobús).	Vehículos-kilómetro Veh. Priv o autobus
Ahorro nº horas/año	Coste Social Polución Atmosférica. €/vehículo- km Tranvía		Coste Social Accidentes Tranvía por viajero
Valor hora viaje	Coste Social Polución Atmosférica. €/vehículo- km Veh. Priv o autobús	Coste ruido por viajero Tranvía	Coste Social Accidentes Vehículo Privados (o Autobús) por viajero

Fuente: Elaboración propia.

En concreto, para la obtención del ahorro de tiempo, las variables influyentes son, en primer lugar, la *longitud del viaje* o trayecto medio²³, que será igual para todos los años de duración de la concesión; en segundo lugar, *el ahorro de tiempo de viaje* de un medio de transporte con respecto a otro – que dependerá de las velocidades comerciales del metro ligero y del vehículo privado (o autobús, según el supuesto en que nos encontremos)²⁴ y del trayecto medio. El ahorro tiempo viaje por la demanda anual con

²³ Vid. párrafo *ut infra* sobre obtención trayecto medio.

²⁴ Velocidades comerciales: Cuadrado, 2006, Metro ligero oeste, S.A, s.f., Estudio de viabilidad de Parla, 2006, de la memoria de la EMT 2007 y VVAA, 2011.

ramp da lugar al *ahorro de horas al año*²⁵, que a su vez multiplicado por el valor hora viaje da lugar al ahorro de tiempo en términos relativos. Recordar que el *valor de hora de viaje* depende a su vez de la Renta Bruta disponible²⁶ de la zona por la que transcurre cada metro ligero y del número de horas de trabajadas al año.

Para el citado trayecto medio, se ha utilizado el relativo a los viajes en transporte público en Madrid, de los datos de la Encuesta Domiciliaria de Movilidad (EDM), atendiendo a la ubicación del metro ligero. En ese sentido, para la línea ML1 el trayecto es igual a 6,037 km y para las líneas ML2 y ML3 12,96 km.

No obstante lo anterior, en el caso del Tranvía de Parla, no se va a emplear los datos de la tabla anterior, ya que al discurrir dentro del ámbito territorial del citado municipio, el trayecto medio no se corresponde con ninguno de los datos de la EDM, puesto que estos valores toman como referencia el centro de Madrid capital.

En ese sentido, de acuerdo con el Estudio de viabilidad del proyecto del Tranvía de Parla el trayecto medio es de 4.874 metros.

Por otro lado, para la determinación del coste ambiental se han considerado, por un lado, los vehículos por km y, por otro lado, los costes sociales de polución atmosférica²⁷.

Los vehículo-km hacen referencia a los km realizados durante un intervalo de tiempo de determinado por un medio de transporte. Para el tranvía y el autobús son constantes en el tiempo porque, en función de sus frecuencias de paso y de su trayecto medio, realizan para un período de tiempo determinado el mismo número de km, por ejemplo, al año, al día o al mes.

En el caso del vehículo privado, también tiene en cuenta el trayecto medio, pero para el mismo período el valor de los vehículos km varía, puesto que como, a diferencia del

²⁵ Expresado en número de horas año. Es función de la demanda anual con ramp up y del ahorro tiempo viaje.

²⁶ INE, 2007.

²⁷ ATM, 2006.

transporte público, el vehículo privado no cuenta con una frecuencia de paso, los vehículos-km dependerán de la demanda estimada y de la ocupación promedio del vehículo²⁸.

Por otra parte, en los costes sociales por contaminación acústica depende de la población afectada²⁹ por el proyecto y del coste social del ruido de los transportes empleados, como es en términos comparativos se calcula por diferencia entre el metro ligero, respecto bien sea el autobús, bien sea el vehículo privado.

En ese sentido, el coste social de cada medio de transporte se calcula teniendo en cuenta se han tenido en consideración los valores calculados a partir de la metodología de precios hedónicos.

En concreto, en la tabla siguiente se exponen los distintos valores del ruido dependiendo del modo de transporte empleado en España calculados por el método de precios hedónicos³⁰, es decir, son estimaciones del precio implícito en función de elecciones individuales.

Los valores se presentan para diferentes modos de transporte, en concreto carretera (C), Ferrocarril (F) y Avión (A).

Para el vehículo privado se toma el valor de (≥ 75 DB(A)) y el autobús (≥ 81 DB(A)), ambos son vehículos incluidos en la modalidad carretera. El valor para el metro ligero tomado es (> 60 DB(A)).

²⁸ ATM, 2006 y Ayuntamiento de Madrid, 2011.

²⁹ Afectada por el crecimiento anual de la población.

³⁰ Euros de 2002 al coste de los factores por año y persona expuesta.

Tabla 3.9. Valores monetarios centrales del Impacto del Ruido por Modo de Transporte para España (pr. hedónicos). Lden³¹											
DB(A) ³²	C	F	A	DB(A)	C	F	A	DB(A)	C	F	A
≥ 51	15	0	23	≥ 62	180	105	280	≥ 73	391	316	581
≥ 52	30	0	47	≥ 63	195	120	303	≥ 74	410	335	609
≥ 53	45	0	70	≥ 64	210	135	326	≥ 75	430	355	637
≥ 54	60	0	93	≥ 65	225	150	349	≥ 76	449	374	664
≥ 55	75	0	116	≥ 66	240	165	373	≥ 77	469	394	692
≥ 56	90	15	140	≥ 67	256	180	396	≥ 78	488	413	720
≥ 57	105	30	163	≥ 68	271	195	419	≥ 79	508	433	748
≥ 58	120	45	186	≥ 69	286	210	443	≥ 80	527	452	775
≥ 59	135	60	210	≥ 70	301	225	466	≥ 81	547	472	803
≥ 60	150	75	233	≥ 71	352	277	526				
≥ 61	165	90	256	≥ 72	372	296	553				

Fuente: Bickel et al. (2006) en CEDEX, 2010.

Por último, para el cálculo del coste total por accidentes se han considerado el coste unitario social de accidentes por los vehículos-km³³.

En cuanto a los valores de las **externalidades del modelo inicial** las tablas que se presentan seguidamente muestran los datos correspondientes ambos estudios: metro ligero respecto al vehículo privado y metro ligero respecto a autobús, respectivamente.

Se han tomado para sintetizar y de manera significativa, los resultados del año inicial de la concesión 2007, de 2017, 2027 y del último año 2037.

³¹ Level day evening night.

³² Decibelios ponderados.

³³ ATM, 2006.

Tabla 3.10. Externalidades. Modelo Metros Ligeros (ML1, ML2 y ML3 y Tranvía de Parla)- Vehículo Privado. Modelo Inicial.						
ML1	AÑO	Ahorro de tiempo	Contaminac. ambtal	Contaminac.acústica	Accidentes	Total
	2007	-992.444	1.075.152	1.696.500	325.603	2.104.811
	2017	-3.102.129	3.490.057	2.651.492	1.060.949	4.100.369
	2027	-3.781.613	4.267.846	3.232.154	1.297.789	5.016.176
	2037	-4.609.816	5.215.870	3.939.978	1.586.465	6.132.497
ML2 y ML3	AÑO					
	2007	-8.643.647	5.764.453	9.540.000	1.748.400	8.409.206
	2017	-23.308.376	15.943.480	12.863.627	4.915.651	10.414.382
	2027	-26.735.820	18.322.524	14.755.194	5.572.374	11.914.272
	2037	-30.714.980	21.084.524	16.951.247	6.413.412	13.734.203
Tranvía de Parla	AÑO					
	2007	-1.071.700	855.366	2.047.380	257.891	2.088.937
	2017	-2.978.860	2.533.613	2.556.477	768.923	2.880.153
	2027	-3.666.902	3.139.070	3.192.164	953.287	3.617.619
	2037	-4.297.620	3.694.084	3.985.921	1.122.290	4.504.675

Fuente: Elaboración propia.

Respecto al primer supuesto, el ahorro de tiempo es negativo en todos los casos, lo que supone que el tranvía no ahorra tiempo en los desplazamientos respecto al vehículo privado, debido especialmente a que la velocidad comercial de este último es mayor a la del metro ligero. No obstante, a pesar de lo anterior, el resto de externalidades arrojan valores positivos lo que significa que en todas las líneas, el tranvía contamina menos, tanto a nivel ambiental como acústico, que el vehículo privado, puesto que emite menos emisiones contaminantes y es más silencioso. Asimismo, el metro ligero ocasiona menos accidentes con lo que también es un beneficio adicional que reporta este medio de transporte para la sociedad y que se refleja también en los resultados del modelo.

Tabla 3.11. Externalidades. Modelo Metros Ligeros (ML1, ML2 y ML3 y Tranvía de Parla)- Vehículo Privado. Modelo con variante.						
ML1	AÑO	Ahorro de tiempo	Contaminac. ambtal	Contaminac.acústica	Accidentes	Total
	2007	-864.402	928.584	1.696.500	280.973	2.041.655
	2017	-2.701.901	3.031.925	2.651.492	921.447	3.902.963
	2027	-3.293.720	3.709.367	3.232.154	1.127.730	4.775.531
	2037	-4.015.070	4.535.079	3.939.978	1.379.162	5.839.149
ML2 y ML3	AÑO					
	2007	-3.563.161	2.238.005	9.540.000	674.584	8.889.428
	2017	-9.608.387	6.434.094	12.863.627	1.952.308	11.641.642
	2027	-11.021.278	7.414.805	14.755.194	2.250.937	13.399.658
	2037	-12.661.603	8.553.381	16.951.247	2.597.638	15.440.663

Tranvía de Parla	AÑO					
	2007	-976.958	771.995	2.047.380	232.504	2.074.921
	2017	-2.715.518	2.301.879	2.556.477	698.359	2.841.197
	2027	-3.409.588	2.853.812	3.192.164	866.425	3.502.813
	2037	-3.917.694	3.359.760	3.985.921	1.020.488	4.448.475

Fuente: Elaboración propia.

En este supuesto el efecto de la demanda real da lugar a que el ahorro de tiempo que generaba el vehículo privado respecto al tranvía, por ser mayor la velocidad comercial de aquel es algo menor. La variable ruido no se ve alterada respecto al modelo inicial puesto que, al igual que sucede con el autobús depende de la población de influencia y no de la demanda. En cuanto a la contaminación atmosférica y la variable accidentes en el caso del vehículo privado sí se va a ver afecto con la introducción de la variable demanda real de forma que con el modelo con variante se ha obtenido menores valores que en el modelo inicial para esas dos externalidades.

Tabla 3.12. Externalidades. Modelo Metros Ligeros (ML1, ML2 y ML3 y Tranvía de Parla)- Autobús. Modelo Inicial.						
ML1	AÑO	Ahorro de tiempo	Contaminac. ambtal	Contaminac.acústica	Accidentes	Total
	2007	3.403.677	99.168	2.120.625	163.858	5.787.328
	2017	10.639.029	99.168	3.314.365	163.858	14.216.420
	2027	12.969.384	99.168	4.040.193	163.858	17.272.603
	2037	15.809.778	99.168	4.924.972	163.858	20.997.776

ML2 y ML3	AÑO					
	2007	27.898.016	383.219	11.925.000	633.200	40.839.435
	2017	75.229.523	383.219	16.079.533	633.200	92.325.475
	2027	86.291.855	383.219	18.443.993	633.200	105.752.267
	2037	99.134.888	383.219	21.189.058	633.200	121.340.365
Tranvía de Parla	AÑO					
	2007	2.416.452	142.866	2.559.225	236.060	5.354.603
	2017	6.716.686	142.866	3.195.596	236.060	10.291.208
	2027	8.268.070	142.866	3.990.205	236.060	12.637.201
	2037	9.690.203	142.866	4.982.401	236.060	15.051.530

Fuente: Elaboración propia.

A diferencia del caso anterior, el ahorro de tiempo es positivo en todas las líneas si comparamos el metro ligero con el autobús. En este caso, la velocidad comercial del metro ligero es mayor a la del autobús con lo que el ahorro de tiempo del primero es mayor, reportando así una externalidad positiva.

De igual forma, en el resto de externalidades, esto es, las relativas a la contaminación ambiental, ruido y accidentes, los resultados obtenidos permiten concluir que el autobús es un transporte público que origina más contaminación acústica, emite más gases contaminantes y tiene un grado de accidentalidad mayor que el metro ligero.

De nuevo, este último ofrece una serie de beneficios que contribuyen de manera positiva al bienestar social, como se deduce de los datos obtenidos con el modelo aplicado en esta tesis.

Tabla 3.13. Externalidades. Modelo Metros Ligeros (ML1, ML2 y ML3 y Tranvía de Parla)- Autobús. Modelo con variante.						
ML1	AÑO	Ahorro de tiempo	Contaminac. ambtal	Contaminac.acústica	Accidentes	Total
	2007	2.964.544	99.168	2.120.625	163.858	5.348.195
	2017	9.266.411	99.168	3.314.365	163.858	12.843.802
	2027	11.296.110	99.168	4.040.193	163.858	15.599.329
	2037	13.770.044	99.168	4.924.972	163.858	18.958.042
ML2 y ML3	AÑO					
	2007	11.500.369	383.219	11.925.000	633.200	24.441.788
	2017	31.011.785	383.219	16.079.533	633.200	48.107.737
	2027	35.571.998	383.219	18.443.993	633.200	55.032.410
	2037	40.866.268	383.219	21.189.058	633.200	63.071.745

Tranvía de Parla	AÑO					
	2007	2.202.828	142.866	2.559.225	236.060	5.140.979
	2017	6.122.906	142.866	3.195.596	236.060	9.697.428
	2027	7.537.142	142.866	3.990.205	236.060	11.906.273
	2037	8.833.553	142.866	4.982.401	236.060	14.194.880

Fuente: Elaboración propia.

Respecto a la comparativa del metro ligero con el autobús, señalar que dado que la contaminación atmosférica y el número de accidentes dependen de los vehículos y, por tanto, de las frecuencias de los modos de transporte analizados y no de la demanda, estas externalidades permanecen invariables en el modelo con variante. De igual forma, la variable ruido es función de la población afectada, por lo que el efecto de la demanda real en el modelo con variante no le afecta. No así el ahorro de tiempo, puesto que sí depende del efecto de la demanda, el modelo con variante muestra ahorros de tiempo menores con lo que las externalidades totales son menores que en el modelo inicial.

Por otro lado, en relación con los costes de construir una línea de metro ligero señalar que se han tenido en cuenta los costes de construcción que incluyen la inversión inicial y las inversiones de reposición y, los costes de operación y mantenimiento. Posteriormente, se han aplicado los correspondientes factores de conversión³⁴, obteniendo así los precios sombra de los citados costes de cada línea de metro ligero. El factor de conversión es constante a lo largo del tiempo con lo que el efecto temporal se produce en los precios sombra mediante el precio de mercado. Finalmente, sumando todos ellos se obtiene el precio sombra del coste total del metro ligero.

³⁴ Souto, 2001.

Tabla 3.14. Costes Construcción, Operación y Mantenimiento Metros Ligeros (ML1, ML2 y ML3 y Tranvía de Parla).						
ML1	AÑO	Inversión inicial	Inversión de reposición	Precio sombra G. Constr.	Pr. Sombra Operac. y mto.	Total Pr. Sombra
	2007	292.959.728	-	259.386.543	2.605.181	261.991.724
	2024	-	7.648.835	6.772.279	2.605.181	9.377.460
	2025	-	24.143.065	21.376.270	2.605.181	23.981.451
	2029	-	59.402.826	52.595.262	2.605.181	55.200.443
	2030	-	61.243.607	54.225.355	2.605.181	56.830.536
	2031	-	13.775.769	12.197.066	2.605.181	14.802.247
ML2 y ML3	AÑO					
	2007	598.936.921	-	530.298.750	11.481.458	541.780.208
	2024	-	18.142.839	16.063.670	11.481.458	27.545.128
	2025	-	36.459.155	32.280.936	11.481.458	43.762.394
	2029	-	150.454.903	133.212.771	11.481.458	144.694.229
	2030	-	176.543.969	156.312.030	11.481.458	167.793.488
	2031	-	26.429.728	23.400.881	11.481.458	34.882.339

TRANVÍA PARLA	AÑO					
	2007	116.365.023	-	103.029.591	2.152.250	105.181.841
	2024	-	3.038.154	2.689.982	2.152.250	4.842.232
	2025	-	9.589.742	8.490.758	2.152.250	10.643.008
	2029	-	23.595.090	20.891.093	2.152.250	23.043.343
	2030	-	24.326.377	21.538.574	2.152.250	23.690.824
	2031	-	5.471.802	4.844.734	2.152.250	6.996.984

Fuente: Elaboración propia.

Igualmente para el caso del autobús, se han considerado los costes de construcción, operación y mantenimiento. En primer lugar, se han calculado a partir de los datos de la Memoria de la EMT de 2007 y se ha ajustado posteriormente su valor mediante los correspondientes factores de conversión.

Respecto a los costes del vehículo privado, los costes son los correspondientes a los de operación, su precio sombra se ha calculado como el producto del coste por operación vehículo-km³⁵ por el factor de conversión relativo al coste de operación del vehículo privado. A su vez, el

³⁵ ATM, 2006.

vehículo-km depende de la demanda anual, de la ocupación promedio del vehículo privado y del trayecto medio. En ese sentido se muestran en la tabla siguiente, a modo de resumen significativo, de diez en diez años los datos desde el año de inicio hasta el final de la concesión:

Tabla 3.15. Costes Construcción, Operación y Mantenimiento. Autobús y Vehículo Privado.							
		AUTOBÚS					VEH. PRIVADO
ML1	AÑO	Inversión inicial	Inversión de reposición	Precio sombra G. Constr.	Pr. Sombra Operac. y mto.	Total Pr. Sombra	Total Pr.Sombra
	2007	3.663.976	-	3.407.864	3.106.012	6.513.876	2.505.509
	2017	-	3.663.976	3.407.864	3.106.012	6.513.876	7.830.177
	2027	-	3.663.976	3.407.864	3.106.012	6.513.876	9.545.285
	2037	-	3.663.976	3.407.864	3.106.012	6.513.876	11.635.775
ML2 y ML3	AÑO						
	2007	16.487.891	-	15.335.388	13.977.052	29.312.440	13.229.957
	2017	-	16.487.891	15.335.388	13.977.052	29.312.440	35.675.776
	2027	-	16.487.891	15.335.388	13.977.052	29.312.440	40.921.819
	2037	-	16.487.891	15.335.388	13.977.052	29.312.440	47.012.315

Tranvía de Parla	AÑO						
	2007	4.274.639	-	3.975.841	3.623.681	7.599.522	2.079.559
	2017	-	4.274.639	3.975.841	3.623.681	7.599.522	5.780.270
	2027	-	4.274.639	3.975.841	3.623.681	7.599.522	7.115.366
	2037	-	4.274.639	3.975.841	3.623.681	7.599.522	8.339.230

Fuente: Elaboración propia.

6) *Aplicación de precios sombra*

Para el cálculo de los precios sombra asociados a los gastos construcción, operación y mantenimiento del metro ligero y operación del vehículo privado se han empleado los factores de conversión a precios básicos que, a continuación, se detallan:

Tabla 3.16. Factores de Conversión para Gastos de Operación y Mantenimiento e Inversiones a Precios básicos. Metro Ligero y Vehículo Privado	
Factor de Conversión. Inversiones Metro Ligero	0,89
Factor de Conversión. Costes Operac. y Mantenimiento. Metro Ligero	0,9055
Factor de Conversión. Costes Operación. Vehículo Privado	0,90

Fuente: Souto, 2001.

Asimismo en el estudio realizado haciendo la comparativa entre tranvía y autobús los precios sombra utilizados han sido:

Tabla 3.17. Factores de Conversión para Gastos de Operación y Mantenimiento e Inversiones a Precios básicos. Metro Ligero y Autobús	
Factor de Conversión. Inversiones Metro Ligero	0,89
Factor de Conversión. Costes Operac. y Mantenimiento Metro Ligero	0,9055
Factor de Conversión. Inversiones Autobús	0,9301
Factor de Conversión. Costes Operac. y Mantenimiento. Autobús	0,8555

Fuente: Souto, 2001.

7) Agregación de los costes y beneficios. Tasa social de descuento.

Para la obtención de los criterios de decisión de la fase siguiente, se calculan los flujos de beneficios y costes calculados anteriormente y se les aplica una tasa de descuento para estandarizarlos. En ese sentido y dado que se trata de un análisis coste beneficio en términos económicos sociales, la tasa a aplicar será una tasa social de descuento y, en particular, una tasa social de preferencia temporal (TSPT)³⁶ (Souto, 2001). A diferencia de las tasas nominales cuyo valor varía a lo largo del tiempo, la tasa social de descuento es una tasa expresada en términos reales con lo que su valor permanece constante.

En el análisis realizado en esta tesis doctoral, se han construido, tanto en el caso del metro ligero con respecto al vehículo privado, como en relación con la alternativa del autobús, tres escenarios (en función de distintas tasas de consumo), con diferentes tasas sociales de preferencia temporal (TSPT): un valor intermedio de TSPT 4,8% (Escenario 1), una TSPT mínima de 2,2% (Escenario 2) y una TSPT máxima 8,4% (Escenario 3).

³⁶ Para mayor detalle del concepto de TSPT y aplicación de la misma en las evaluaciones económicas, vid. apartado 2.4 *ut supra*.

Tabla 3.18. Tasas sociales de preferencia temporal aplicadas (TSPT)	
Escenarios	TSPT
Escenario 1 (tasa de consumo del 2,2%)	4,8%
Escenario 2 (tasa de consumo del 1,5%)	2,2%
Escenario 3 (tasa de consumo del 3%)	8,4%

Fuente: Souto, 2001.

8) *Cuantificación de los criterios de decisión.*

En esta fase se calculan el valor de los criterios de decisión, con el valor actualizado de los flujos de beneficios y costes al aplicar la tasa social de descuento. En este estudio el VAN, la TIR, el VAN costes, el VAN beneficios y la ratio coste-beneficio.

9) *Presentación de los resultados y toma de decisiones. Análisis de sensibilidad.*

Las fases 8) y 9) sobre, cuantificación de los criterios de decisión, resultados y análisis de sensibilidad se exponen juntos a continuación por apartados en función de cada una de las líneas de metro ligero analizadas.

El análisis de sensibilidad se ha realizado sobre el modelo inicial.

3.5.2. Metro Ligero Pinar de Chamartín-Sanchinarro-Las Tablas (Línea ML1): Resultados y análisis de sensibilidad

En sus inicios, la empresa pública Madrid Infraestructuras del Transporte (MINTRA) de la Comunidad de Madrid (actualmente extinta) inició la construcción de esta línea. Sin embargo, a principios de 2006, el Gobierno de la Comunidad de Madrid toma la decisión de construir dicha infraestructura con colaboración privada y convoca el concurso de concesión de construcción y explotación de la línea por un periodo de 30 años. De esta manera, el concesionario adjudicatario se subrogaría en el papel de MINTRA para continuar con la construcción de la línea. Es una línea con 5,4 km de longitud que cuenta con 6 trenes que discurren a una velocidad comercial de 21 km/hora. En julio de 2006, Madrid Infraestructuras del Transporte (MINTRA), adjudica

la concesión a Metros Ligeros de Madrid, S.A. La operación y mantenimiento de la línea la realiza Metro de Madrid, S.A. La zona por la que transcurre la línea ML1 de metro ligero abarca desde las Tablas hasta Pinar de Chamartín pasando por el PAU de Sanchinarro. Así, cuenta con las siguientes estaciones: Las Tablas, Palas del Rey, María Tudor, Blasco Ibáñez, Álvarez de Villaamil, Antonio Saura, Virgen del Cortijo, Fuente de la Mora y Pinar de Chamartín.

En mayo de 2007, un nuevo modo de transporte, el Metro Ligero, inicia su explotación en la Comunidad de Madrid, al ponerse en servicio la Línea ML1, que discurre por los nuevos desarrollos de Sanchinarro y las Tablas, conectando con las líneas 1 y 4 de metro de Madrid en Pinar de Chamartín y con la línea 10 en la Tablas.

El motivo por el que se procedió a construir la línea ML1 fue que, el planeamiento de usos del suelo de dichas zonas y las necesidades de movilidad esperadas, impulsaban la construcción de una línea de metro ligero, una alternativa que viniera a satisfacer de forma óptima un nivel de demanda situado entre el autobús y el metro convencional, con flexibilidad de trazado, altos niveles de integración urbana e importante accesibilidad y fiabilidad.

Dentro de la retribución del concesionario, la Comunidad de Madrid se comprometió a abonar el importe de cada año resultante de aplicar una Tarifa técnica ofertada (actualizada por el IPC) por el concesionario a la demanda real de cada año, descontando los ingresos por venta directa de billetes por el concesionario. A ello se añade que el restablecimiento del equilibrio económico-financiero de la concesión correspondía a la extinta MINTRA (Comunidad de Madrid), según diversos criterios, entre otros, la posibilidad de modificar la Tarifa técnica percibida por el concesionario o aportaciones en metálico de MINTRA o el Consorcio Regional de Transportes de Madrid. (PCAP ML1, ML2 y ML3, 2006).

Los resultados que se han obtenido del análisis coste beneficio realizado, para el modelo inicial, el modelo con variante y el análisis de sensibilidad y se han diferenciado tres

escenarios para cada tasa social de descuento (TSPT). En primer lugar, se va a analizar el supuesto de metro ligero de la línea ML1 con el vehículo privado. En este caso, en cada escenario el análisis de sensibilidad supone una modificación de la demanda inicial estimada en el uso del tranvía en un 50%, 15% y 110% respectivamente. Para el escenario 1, los resultados obtenidos son un VAN económico y social negativo y una TIR de 1,25%. La ratio coste beneficio es menor a la unidad, ya que el VAN costes superiora al VAN beneficios. Una vez realizado el análisis de sensibilidad con un incremento del 50% de la demanda inicial estimada, tanto el VAN como la TIR arrojan valores positivos.

En el Escenario 2, al ser una TSPT menor al escenario 1, el valor absoluto del VAN, aunque este es también negativo, tiene un importe más próximo a cero de -30.573.347 euros. La ratio coste beneficio es inferior a la unidad. En este, caso, con un incremento de la demanda inicial estimada en un 15%, el VAN Económico Social es positivo. La TIR en este supuesto también tiene un valor superior a cero del 2,52%. Por último, para el escenario 3, siendo la tasa social de descuento 8,4%, el VAN Económico Social desciende a un resultado de -130.795.890 euros. La ratio coste beneficio está por debajo de 0,5. En el análisis de sensibilidad realizado, habría que incrementar en más de un 100% la demanda con respecto a la inicial estimada para que el VAN fuera positivo. En el caso presentado, para un incremento del 110%, se obtiene un VAN Económico-Social de 531.937 euros.

En cuanto al modelo con variante los resultados para cualquier de los escenarios arrojan resultados aún menos favorables, de forma que el VAN obtiene un valor más negativo que el resultante del modelo inicial, la TIR es del 0% y la ratio coste beneficio es menor para todos los escenarios que respecto al modelo inicial.

Tabla 3.19. Resultados Análisis Coste-Beneficio. Metro Ligero ML1 Las Tablas / Sanchinarro versus Vehículo Privado									
Criterios de Decisión	Escenario 1			Escenario 2			Escenario 3		
	Modelo Inicial³⁷	Modelo con variante³⁸	Análisis de sensibilidad (50% I.D.³⁹)	Modelo Inicial	Modelo con variante	Análisis de sensibilidad (15% I.D)	Modelo Inicial	Modelo con variante	Análisis de sensibilidad (110% I.D)
VAN	-88.104.318	-112.313.595	5.717.556	-30.573.347	-66.309.984	10.975.333	-130.795.890	-146.199.119	531.937
TIR	1,25%	0 %	5,00%	1,25%	0%	2,52%	1,25%	0%	8,42%
VAN beneficios	128.973.836	120.629.520	161.311.825	189.653.596	177.336.095	203.974.358	82.600.692	77.291.595	127.866.020
VAN costes	217.078.154	232.943.115	155.594.269	220.226.943	243.646.079	192.999.025	213.396.582	223.490.714	127.334.083
Ratio coste-beneficio	0,59	0,52	1,04	0,86	0,73	1,06	0,39	0,35	1,00

Fuente: Elaboración propia.

³⁷ Dem. Estim.: Demanda Estimada.

³⁸ En el modelo con variante se han introducido los datos de demanda real disponibles a fecha de terminación de esta tesis doctoral (años 2007 a 2013).

³⁹ I.D: Incremento de la Demanda.

A continuación, se pasará a realizar el análisis de la línea ML1 con el autobús. En cada escenario se van a tener en cuenta los cambios producidos por el incremento del 100% de la demanda inicial estimada en el uso del tranvía.

En el escenario 1, para una tasa social de descuento del 4,8%, el VAN Económico Social es negativo, alcanzando un valor igual a -185.442.751 euros. Incluso realizado el análisis de sensibilidad con un aumento del 100% en la demanda, en el escenario 1, el VAN seguiría siendo negativo con un resultado de -157.766.927 euros.

Para el escenario 2, a una TSPT menor del 2,2%, el valor absoluto del VAN, si bien es aún negativo -179.708.564 euros, tiene un importe algo menor en términos absolutos que en el escenario 1. En este, caso, con un incremento de la demanda inicial estimada en un 100% el VAN Económico Social sería negativo también llegando a -138.854.766 euros.

Por último, para el escenario 3, con una tasa social de descuento 8,4%, superior que en los otros dos escenarios, el VAN Económico Social tiene un valor de -189.224.866 euros.

Más aún, y al igual que en los escenarios anteriores, en el escenario 3, incluso con un aumento de la demanda inicial estimada en un 100% el VAN sería negativo con un resultado de -171.616.034 euros.

En definitiva, en el análisis metro ligero (ML1) Vs autobús, en todos los casos, incluso realizando el análisis de sensibilidad en el que se ha incrementado la demanda en un 100%, el VAN económico-social no alcanza valores positivos, sino que se queda en todos los escenarios por debajo de cero. De forma análoga, analizando el VAN costes y el VAN beneficio, en todos los casos el primero supera al segundo, de forma que

la ratio coste beneficio en ninguno de los supuestos supera la unidad. A idéntica conclusión se llega viendo la TIR que, para cualquiera de los escenarios, es negativa.

Tabla 3.20. Resultados Análisis Coste-Beneficio. Metro Ligero ML1 Las Tablas / Sanchinarro versus Autobús									
Criterios de Decisión	Escenario 1			Escenario 2			Escenario 3		
	Modelo Inicial	Modelo con variante	Análisis de sensibilidad (100% I.D⁴⁰)	Modelo Inicial	Modelo con variante	Análisis de sensibilidad (100% I.D)	Modelo Inicial	Modelo con variante	Análisis de sensibilidad (100% I.D)
VAN	-185.442.751	-189.013.409	-157.766.927	-179.708.564	-184.979.408	-138.854.766	-189.224.866	-191.496.708	-171.616.034
TIR	- 7,5%	-	-3,75%	- 7,5%	-	-3,75%	- 7,5%	-	-3,75%
VAN beneficios	97.468.510	93.897.852	125.144.335	142.712.489	137.441.645	183.566.287	62.820.876	60.549.033	80.429.707
VAN costes	282.911.261	282.911.261	282.911.261	322.421.053	322.421.053	322.421.053	252.045.741	252.045.741	252.045.741
Ratio coste-beneficio	0,34	0,33	0,44	0,44	0,43	0,57	0,25	0,24	0,32

Fuente: Elaboración propia

En este caso, a la vista de los resultados, el proyecto no parece resultar viable en términos económicos-sociales, siendo el autobús una alternativa preferible para la prestación de este servicio.

⁴⁰ I.D : Incremento de la demanda

Por último, en este caso indicar que en cuanto al modelo con variante, es decir, aquel que ha tenido en cuenta el efecto de la demanda real conocida hasta el momento, de nuevo como sucedía en el estudio del metro ligero frente al vehículo privado, para cualquier TSPT de las aplicadas los resultados son aún más pesimistas.

3.5.3. Metro Ligero Colonia Jardín-Pozuelo de Alarcón y Boadilla del Monte (Líneas ML2 y ML3): Resultados y análisis de sensibilidad

Al igual de en el caso de la línea ML1, en este caso, la extinta MINTRA inició las obras de construcción si bien finalmente se decidió en 2006 sacar ambas líneas ML2 y ML3 a concurso de concesión. Estas dos líneas de metro ligero estructuran los municipios de Pozuelo de Alarcón y Boadilla del Monte (en la zona noroeste de Madrid) y los unen a la red de Metro y Cercanías. En concreto, la línea ML2 es la relativa a Colonia Jardín-Pozuelo de Alarcón y la línea ML3, Colonia Jardín-Boadilla del Monte.

En consecuencia, en julio de 2006, Metro Ligero Oeste, S.A resultó adjudicataria del contrato de concesión para la construcción y explotación de las dos nuevas líneas, con un plazo de concesión de 30 años. La operación y mantenimiento corre a cargo de la Sociedad Concesionaria subrogándose a lo ya iniciado por la extinta MINTRA.

La obra civil de esta infraestructura fue coordinada con los Ayuntamientos de Pozuelo de Alarcón, Boadilla del Monte y Alcorcón. Se tuvieron en cuenta varias peticiones llevadas a cabo por los municipios y se procedió a algunas modificaciones de trazado de forma que el proyecto se pudiera ajustar a las necesidades de los residentes y a los desarrollos futuros del planeamiento urbanístico.

Todas las estaciones han sido diseñadas para usuarios de movilidad reducida y son fácilmente accesibles. Las estaciones subterráneas cuentan con escaleras mecánicas, fijas y ascensores. La supervisión y control de la circulación de las dos líneas se

gestiona desde un Puesto de Control ubicado en las cocheras en la Ciudad de la Imagen (Pozuelo de Alarcón), que vigila de manera constante todas las operaciones del servicio.

En cuanto a la línea ML2 de metro ligero une la Colonia Jardín (distrito de Latina), con el barrio de Aravaca, (distrito de Moncloa-Aravaca), pasando por Pozuelo de Alarcón. Las estaciones que la conforman son: Colonia Jardín, Prado de la Vega, Colonia de los Ángeles, Prado del Rey, Somosaguas Sur, Somosaguas Centro, Pozuelo Oeste, Bélgica, Dos Castillas, Campus de Somosaguas, Avenida de Europa, Berna y Estación de Aravaca.

En cuanto a la línea ML3 conecta la Colonia Jardín con Boadilla del Monte, atravesando Pozuelo de Alarcón y Alcorcón. Las estaciones con que cuenta son las siguientes: Colonia Jardín, Ciudad de la Imagen, José Isbert, Ciudad del Cine, Cocheras, Retamares, Montepíncipe, Ventorro del Cano, Prado del Espino, Cantabria, Ferial de Boadilla, Boadilla Centro, Nuevo Mundo, Siglo XXI, Infante Don Luis y Puerta de Boadilla.

En cuanto a la Línea ML2 se encuentra conectada en ambos extremos con la red ferroviaria de gran capacidad, con Metro de Madrid con Colonia Jardín que recibe un 60% de los viajeros y con Cercanías en Estación de Aravaca, por donde transita el 25% de los usuarios.

La demanda en dos tercios del total -día laborable- se corresponde al viaje interurbano que relaciona Madrid con el casco urbano de Pozuelo, pese a transcurrir la línea de manera íntegra en su casco, se elevan apenas al 11,3% del total. La línea ML3 parte de Boadilla, en el extremo norte de los nuevos desarrollos de este municipio y, tras atravesar el núcleo urbano, presta servicio a las áreas de actividad económica ubicadas entre Madrid (Colonia Jardín) y Boadilla, así como a la Universidad de Montepíncipe. La longitud conjunta de las líneas ML2 y ML3 es de 22,20 km, cuentan en total con 27 trenes, que discurren a una velocidad comercial de 23,48 km/hora. La demanda en dos tercios del total -día laborable- se corresponde con el viaje metropolitano que relaciona

Madrid con la Ciudad de la Imagen en Pozuelo, Montepríncipe en Alcorcón y el espacio urbano residencial de Boadilla del Monte. Los viajes internos a Boadilla, segunda componente en importancia, suponen un 10% del total.

El sistema de retribución al concesionario en la parte correspondiente a la Comunidad de Madrid es el mismo que en la línea ML1, es decir, mediante la aplicación de una Tarifa técnica ofrecida por el concesionario a la demanda real de cada año, actualizando la Tarifa técnica es en función del IPC. A este resultado habría que minorar lo recaudado por el concesionario en concepto de ventas directas de billetes a los usuarios. Asimismo, respecto al restablecimiento económico-financiero de la concesión le correspondía a MINTRA su aseguramiento mediante, entre otros criterios, aportaciones en metálico (PCAP de ML1, ML2 y ML3, 2006).

En cuanto al ACB realizado, considerando, al igual que se ha realizado previamente en la línea ML1, los tres escenarios para distintas tasas sociales de descuento, en los modelos inicial y con variante, así como efectuado el análisis de sensibilidad – en este caso, de incremento de la demanda de un 10% en cada escenario-, los resultados obtenidos en el modelo de metro ligero, líneas ML2 y ML3 respecto al vehículo privado, seguidamente.

Para una tasa social de descuento de 4,8%, el VAN Económico Social es positivo. De esta forma, un análisis de sensibilidad relativo a un incremento del 10% de la demanda inicial estimada, dará lugar a valores superiores, tanto de VAN como la TIR. Para el Escenario 2, a una TSPT menor, el valor del VAN es también positivo y superior al obtenido en el escenario 1, igual a 666.164.554 euros. Ante un incremento de la demanda inicial estimada en un 10% a una tasa social de descuento mínima el VAN Económico Social sigue siendo positivo, alcanzando un valor superior a los 800.000.000 euros.

Tabla 3.21. Resultados Análisis Coste-Beneficio. Metro Ligero ML2 Y ML3 versus Vehículo Privado									
Criterios de Decisión	Escenario 1			Escenario 2			Escenario 3		
	Modelo Inicial	Modelo con variante	Análisis de sensibilidad (10% I.D)⁴¹	Modelo Inicial	Modelo con variante	Análisis de sensibilidad (10% I.D)	Modelo Inicial	Modelo con variante	Análisis de sensibilidad (10% I.D)
VAN	326.839.051	-162.540.692	451.295.773	666.164.554	-48.631.236	848.477.212	65.969.296	-249.603.554	145.932.471
TIR	9,84%	1,41%	11,48%	9,84%	1,41%	11,48%	9,84%	1,41%	11,48%
VAN beneficios	592.904.210	424.844.846	634.219.146	861.887.140	616.416.976	922.429.091	385.368.748	276.996.930	411.901.911
VAN costes	266.065.160	587.385.538	182.923.373	195.722.587	665.048.212	73.951.879	319.399.452	526.600.483	265.969.439
Ratio coste-beneficio	2,23	0,72	3,47	4,40	0,93	12,47	1,21	0,53	1,55

Fuente: Elaboración propia.

Para el escenario 3, siendo la tasa social de descuento de 8,4%, el VAN Económico Social también es positivo aunque inferior a los escenarios anteriores igual a 65.969.296 euros. El incremento de la demanda inicial estimada en un 10% con una TSPT mayor da lugar a un valor positivo del VAN también para este escenario, llegando a los 145.932.471 euros. En particular, para el caso de las líneas ML2 y ML3 la menor demanda real sobre la estimada ha sido muy significativa, lo que ha podido apreciarse en los datos finales de los criterios de decisión del modelo elaborado. Si con demanda estimada el VAN era positivo, aplicando el efecto de la demanda real el VAN pasa a ser negativo. La misma

⁴¹ I.D : Incremento de la demanda

tendencia se produce en el resto de criterios de decisión con una TIR que se sitúa por debajo del 1,5% y una ratio coste beneficio que no supera la unidad como consecuencia del mayor valor del VAN costes sobre el VAN beneficios en el modelo con variante.

Por otro lado, en cuanto a la comparativa del metro ligero con el autobús los resultados son:

Tabla 3.22. Resultados Análisis Coste-Beneficio. Metro Ligero ML2 Y ML3 versus Vehículo Autobús									
Criterios de Decisión	Escenario 1			Escenario 2			Escenario 3		
	Modelo Inicial	Modelo con variante	Análisis de sensibilidad (100% I.D⁴²)	Modelo Inicial	Modelo con variante	Análisis de sensibilidad (50% I.D)	Modelo Inicial	Modelo con variante	Análisis de sensibilidad (100% I.D)
VAN	-106.460.899	-177.559.368	14.501.958	13.362.150	-90.485.399	101.702.280	-200.237.358	-246.084.671	-122.235.369
TIR	2,43%	0,46%	5,09%	2,43%	0,46%	3,84%	2,43%	0,46%	5,09%
VAN beneficios	449.174.338	378.075.869	570.137.195	650.604.405	546.756.857	738.944.536	293.529.396	247.682.082	371.531.385
VAN costes	555.635.237	555.635.237	555.635.237	637.242.256	637.242.256	637.242.256	493.766.754	493.766.754	493.766.754
Ratio coste-beneficio	0,81	0,68	1,03	1,02	0,86	1,16	0,59	0,50	0,75

Fuente: Elaboración propia.

⁴² I.D: Incremento de la demanda.

En este caso, se ha realizado un análisis de sensibilidad, mediante el cual se varía la demanda en cada escenario un 100%, 50% y 100% respectivamente.

Como puede verse, para una tasa social de descuento del 4,8%, el VAN Económico Social es negativo. En ese escenario, los datos obtenidos con un incremento de un 100% de demanda dan un resultado de VAN Económico Social positivo.

Para el Escenario 2, se ha tomado una tasa social de descuento menor, dando lugar a un valor del VAN positivo igual a 13.362.150 euros.

Adicionalmente, con un incremento de la demanda inicial estimada en un 50% a una tasa social de descuento menor el VAN Económico Social es positivo. Con respecto a la situación previa al incremento de demanda, para una tasa social de preferencia temporal menor en el escenario 2, la ratio coste beneficio está también por encima de la unidad.

En el escenario 3, siendo la tasa social de descuento mayor, el VAN Económico Social desciende a un valor de -200.237.358 euros. Viendo el análisis de sensibilidad realizado, habría que incrementar en más de un 100% la demanda con respecto a la inicial estimada para que el VAN fuera positivo. En este escenario, el VAN costes es sensiblemente superior al VAN beneficios, tanto para el modelo inicial como una vez realizado el análisis de sensibilidad.

Finalmente, en el modelo con variante si el VAN era negativo en el modelo inicial, el VAN al aplicar el efecto de la demanda real obtiene un valor más adverso y si el VAN era positivo en el modelo inicial, como sucedía en el escenario 2, en el modelo con variante pasa a ser negativo.

3.5.4 Tranvía de Parla: Resultados y análisis de sensibilidad

Dentro del Plan de Infraestructuras 2003-2007, el Tranvía de Parla es una iniciativa singular que, supone la implantación de un sistema en superficie con capacidad

intermedia en plataforma reservada íntegramente interior al núcleo urbano. Es una iniciativa de cooperación entre la Comunidad de Madrid y el Ayuntamiento de Parla, siendo el Consorcio Regional de Transportes (Organismo Autónomo en el que ambas administraciones están representadas) la administración concedente.

El modelo de contrato es concesional, por 40 años, incluyendo el proyecto, la obra, el material móvil y la explotación de la línea de tranvía a favor de Tranvía de Parla, S.A. Por otra parte, señalar que el centro urbano consolidado ha incrementado su actividad y mejorado de manera sustancial la calidad urbana en el entorno del trazado. La línea tiene una longitud de 9 km, cuenta con 7 trenes que discurren a una velocidad comercial de 22 km/h. La zona por la que transcurre el tranvía de Parla es circular por el ámbito territorial de Parla, cuyas estaciones son: Plaza de Toros, Julio Romero de Torres, La Ballena, Parla Centro-Bulevar Norte, Centro-Iglesia, Bulevar Sur, Reyes Católicos, Isabel II, Parque Parla Este, Avenida del Sistema Solar, Tierra (estación con dualidad de paradas: Norte y Sur), Venus (estación con dualidad de paradas: Norte y Sur), Estrella Polar (estación con dualidad de paradas: Norte y Sur), Jaime I (estación con dualidad de paradas: Norte y Sur), Polígono Industrial Ciudad de Parla y Parla Norte (estación prevista en el proyecto aún sin construir).

Respecto a la retribución del concesionario se componían por parte de fondos públicos, directa o indirectamente los ingresos procedentes del cobro de billetes una cumplido el sexto año de explotación del concesionario, subvenciones pactadas con la entidad contratante en la proposición económica. Además, para la construcción de dicha infraestructura se facilitó una subvención del 33% del presupuesto de la inversión ofertada en infraestructura e instalaciones fijas (incluido material móvil). El restablecimiento del equilibrio económico-financiero corresponderá a la Administración Pública en función de distintos aspecto, por ejemplo, la modificación de las tarifas inicialmente pactadas o de alguna de las cláusulas de contenido económico acordadas (PCAP Tranvía de Parla, 2005 y Carpintero, 2007).

En cuanto a los resultados finales para el caso del Tranvía de Parla Vs vehículo privado, se ha realizado de forma complementaria un análisis de sensibilidad variando la demanda un 10% de la demanda en cada escenario. En el escenario 1, el VAN Económico Social es positivo e igual a 45.193.883 euros y la TIR del proyecto alcanza un valor del 8,23%.

De los resultados también se desprende que el incremento del 10% de la demanda inicial estimada, da lugar, tanto a un mayor VAN como una TIR superior, incrementándose esta última prácticamente en un 1%. En el escenario 2, para una tasa social de descuento del menor, el valor del VAN también es mayor que cero de 107.259.702 euros.

El aumento en la demanda inicial estimada de un 10%, supondría un VAN Económico Social y TIR superiores que para los valores iniciales de demanda. Para el escenario 3, a una tasa social de descuento mayor, el VAN Económico Social ya no arrojaría valores positivos, en base a la demanda estimada inicial.

Sin embargo, el incremento de la demanda en un 10% con una TSPT de mayor daría lugar a un valor superior a cero del VAN también para este escenario, igual a 7.015.980 euros.

Respecto al modelo con variante, los resultados respecto al modelo inicial son menos optimistas y, el valor del VAN, a pesar de ser positivo, no es muy significativo en un proyecto de estas dimensiones.

Tabla 3.23. Resultados Análisis Coste-Beneficio. Tranvía de Parla versus Vehículo Privado

Criterios de Decisión	Escenario 1			Escenario 2			Escenario 3		
	Modelo Inicial	Modelo con variante	Análisis de sensibilidad (10% I.D ⁴³)	Modelo Inicial	Modelo con variante	Análisis de sensibilidad (10% I.D)	Modelo Inicial	Modelo con variante	Análisis de sensibilidad (10% I.D)
VAN	45.193.883	33.314.800	58.631.189	107.259.702	89.722.788	127.096.996	-1.530.114	-9.085.182	7.015.980
TIR	8,23%	7,40%	9,14%	8,23%	7,40%	9,14%	8,23%	7,40%	9,14%
VAN beneficios	107.664.573	103.780.302	112.058.359	158.248.708	152.514.417	164.735.188	69.003.775	66.533.388	71.798.212
VAN costes	62.470.690	70.465.502	53.427.170	50.989.006	62.791.628	37.638.192	70.533.889	75.618.570	64.782.232
Ratio coste-beneficio	1,72	1,47	2,10	3,10	2,43	4,38	0,98	0,88	1,11

Fuente: Elaboración propia.

Por último, en el caso del modelo del Tranvía de Parla comparado con el autobús los resultados obtenidos se muestran en la siguiente tabla, aplicando un 15% de incremento de demanda en el análisis de sensibilidad de cada escenario:

⁴³ I.D : Incremento de la demanda

Tabla 3.24. Resultados Análisis Coste-Beneficio. Tranvía de Parla versus Autobús

Criterios de Decisión	Escenario 1			Escenario 2			Escenario 3		
	Modelo Inicial	Modelo con variante	Análisis de sensibilidad (15% I.D ⁴⁴)	Modelo Inicial	Modelo con variante	Análisis de sensibilidad (15% I.D)	Modelo Inicial	Modelo con variante	Análisis de sensibilidad (15% I.D)
VAN	-2.567.923	-2.698.749	666.153	31.101.137	30.658.433	35.875.555	-28.269.957	-28.118.266	-26.213.092
TIR	4,55%	4,53%	4,87%	4,55%	4,53%	4,87%	4,55%	4,53%	4,87%
VAN beneficios	93.203.308	93.072.482	96.437.383	136.272.948	135.830.244	141.047.366	60.191.026	60.342.716	62.247.890
VAN costes	95.771.230	95.771.230	95.771.230	105.171.811	105.171.811	105.171.811	88.460.982	88.460.982	88.460.982
Ratio coste-beneficio	0,97	0,97	1,01	1,30	1,29	1,34	0,68	0,68	0,70

Fuente: Elaboración propia.

En el estudio el escenario 1 para una tasa social de descuento del intermedia, el VAN Económico Social es negativo. Sin embargo, con un incremento del 15% de la demanda inicial estimada, el VAN arroja valores positivos.

⁴⁴ I.D : Incremento de la demanda

Para el Escenario 2, se ha tomado una tasa social de descuento del menor. En este caso, el VAN es positivo e igual a 31.101.137 euros. En este caso, también con un incremento de la demanda inicial estimada en un 15% a una tasa social de descuento del 2,2% % el VAN Económico Social es positivo. La TIR en este supuesto es igual a 4,87%.

En el escenario 3, siendo la tasa social de descuento 8,4%, el VAN Económico Social desciende a un valor de -28.269.957 euros. Con el análisis de sensibilidad en este escenario, sigue dando un VAN inferior a cero de -26.213.092 euros.

Para finalizar, los datos finales muestran que con el modelo con variante empeoran los resultados y, tanto el modelo inicial como con variante del escenario 2, el VAN alcanza un valor positivo, pero no muy elocuente.

3.6.Conclusiones

En este capítulo se ha realizado una revisión de la metodología del análisis coste beneficio (ACB) y una aplicación práctica a las líneas de metro ligero de la Comunidad de Madrid. El ACB es una técnica empleada para evaluar programas o proyectos de inversión, que consiste en comparar los costes con los beneficios asociados a la realización del proyecto con el propósito de que los beneficios sean mayores a los costes. Se han analizado dos enfoques del ACB, a saber, en cuanto a la economía del bienestar⁴⁵ manejando conceptos como el excedente del consumidor, la variación compensada o la equivalente y, una segunda, la tradicional o por fases.

Centrándonos en la doctrina tradicional, que será la aplicada empíricamente en esta tesis, el ACB por fases evalúa en términos monetarios los flujos de costes y beneficios asociados a cada alternativa estudiada. En un primer momento, se ha de definir el objetivo o proyecto a analizar, sin olvidar las posibles alternativas existentes al mismo,

⁴⁵ Para mayor abundamiento en estos conceptos vid. apartado 2.21 *ut supra*.

entrando en juego el coste de oportunidad. Teniendo en cuenta los criterios de decisión de que van a utilizar (VAN, TIR, VAN costes, VAN beneficios, ratio coste beneficio), se han de identificar tanto la corriente de costes como la de beneficios que se medirán lo largo de un intervalo de tiempo y se expresarán, en valor actual a través de una tasa de descuento. Con los flujos de costes y beneficios obtenidos, se aplican algunos de los citados criterios de decisión para elegir aquella alternativa que sea más eficiente, sin perjuicio de la existencia de riesgos e incertidumbre vinculados a las distintas opciones estudiadas. En cuanto a la corriente de costes y beneficios en un proyecto de infraestructura de transporte público se deben traer a consideración los costes de construcción, operación y mantenimiento, así como las externalidades asociadas al proyecto, por ejemplo, el ahorro de tiempo, la contaminación acústica y ambiental o la reducción de accidentes.

El ACB presenta importantes ventajas como son su sencillez, objetividad y se trata de una regla de selección directa en la elección de proyectos.

La diferencia esencial entre el ACB y los métodos ordinarios de evaluación de inversiones que emplean las empresas, es el énfasis en los costes y beneficios sociales. El objetivo consiste en identificar y medir las pérdidas y las ganancias en el bienestar económico que recibe la sociedad en su conjunto.

La aplicación del ACB ha sido muy diversa, pero en la mayoría de los casos se demuestra que esta metodología permite conjugar las ventajas del sector público con el privado, esto es, la combinación entre la búsqueda de un impacto social en beneficio de los ciudadanos, junto con la eficacia y eficiencia que reporta el sector privado.

En el análisis empírico de este capítulo, el objetivo de esta tesis ha sido realizar una evaluación económico-social de las líneas de Metro ligero de la Comunidad de Madrid (líneas ML1 (Pinar de Chamartín-Sanchinarro-Las Tablas), ML2 y ML3 (Colonia Jardín-Pozuelo de Alarcón y Boadilla del Monte) y el tranvía de Parla mediante la metodología del análisis coste beneficio (ACB) tradicional. Todas ellas se han llevado a

cabo mediante el sistema de concesión. Se ha confrontando, por un lado, la construcción del metro ligero con el vehículo privado y por otra parte, de aquel con el autobús.

No obstante lo anterior, entre las dificultades a las que se ha tenido que hacer frente en esta tesis para el desarrollo de la metodología anterior, destacar especialmente la incertidumbre sobre el comportamiento futuro de determinadas variables, en particular, de la demanda dado el carácter estimativo y su posible desviación incierta *a priori* respecto de su definitivo valor real. En cualquier caso, la metodología ACB aplicada en esta tesis permite arrojar luz y dar una respuesta eficaz a gran parte de la incertidumbre, que tanto desde el punto de vista económico como social, genera el acometer o no un proyecto de transporte urbano público como es la construcción de líneas de metro ligero.

Al tratarse de un ACB económico-social los costes, según el criterio de coste de oportunidad, se han constituido por los beneficios perdidos en la mejor alternativa disponible para los recursos que absorbe el proyecto, mientras que los beneficios se han configurado como externalidades que pueden alcanzar a los miembros de la sociedad en general, de manera que no tienen por qué siempre recaer de manera exclusiva en el concesionario de la línea de metro ligero. Como externalidades se han utilizado: el ahorro de tiempo, el coste ambiental, los costes sociales del ruido y de accidentes de un medio de transporte respecto del otro⁴⁶. En cuanto a los costes se han tomado los costes de construcción -inversión inicial más inversiones en reposición-, los costes de mantenimiento y de operación para el metro ligero y el autobús. En el caso del vehículo privado se han considerado los costes de operación. En todos ellos, al tratarse de precios de mercado, se les ha aplicado factores de conversión para transformarlos en precios sombra y poder introducirlos en el modelo, puesto que el precio sombra constituye una expresión del coste de oportunidad y, por ende, de su precio social.

Una vez completada la parte del cálculo de los flujos de costes y beneficios se les ha aplicado una tasa social de descuento y, en particular, una tasa social de preferencia

⁴⁶ Para el cálculo de costes y beneficios vid. apartado 2.5 de aplicación empírica *ut supra*.

temporal (TSPT) para tres escenarios diferentes: escenario 1 (TSPT: 4,8%), escenario 2 (TSPT: 2,2%) y escenario 3 (TSPT: 8,4%).

Por lo que respecta a la cuantificación de los criterios de decisión, se han utilizado el VAN, TIR, VAN costes, VAN beneficios y ratio coste beneficio, criterios de decisión que por la naturaleza de los flujos de beneficios y costes y por la tasa social de descuento empleada, ofrecen resultados expresados en términos económico-sociales.

Por último, respecto a la construcción del modelo, se han presentado los resultados para la toma de decisiones y se ha realizado adicionalmente un análisis de sensibilidad, en concreto, mediante la variación de la demanda estimada.

En cuanto a las aportaciones de este capítulo y los resultados obtenidos, indicar que:

-Respecto al vehículo privado la línea ML1, tanto el modelo inicial como con variante, obtiene para todos los escenarios un valor de VAN negativo, una TIR inferior a la tasa social de preferencia temporal (TSPT), positiva del 1,25% en el modelo inicial pero del 0% en el modelo con variante, y un ratio coste beneficio inferior a la unidad, ya que el VAN costes supera al VAN beneficios en cualquiera de los dos modelos.

En el caso de las líneas ML2 y ML3, en el modelo inicial, tanto en el escenario 1, como el 2 y el 3 el VAN es positivo, la TIR es superior a la TSPT y la ratio coste beneficio es mayor a la unidad. No sucede lo mismo en el modelo con variante, en el que el VAN es negativo para todos los escenarios, la TIR es positiva pero inferior a cualquiera de las TSPT aplicadas y la ratio coste beneficio es inferior a la unidad.

En cuanto al Tranvía de Parla, tanto en el modelo inicial como en el modelo con variante, depende del escenario en el que nos encontremos, ya que en el escenario 1 y 2 el VAN es positivo y la TIR es mayor a la TSPT y en el escenario 3 el VAN es negativo, la TIR es menor que la TSPT y la ratio coste beneficio en este último escenario es menor a la unidad. Sin embargo, este criterio de decisión en los escenarios

1 y 2 es mayor que uno y, en particular, en este último escenario alcanza un valor superior a 3 en el modelo inicial. No obstante, el modelo con variante los resultados son menos favorables y, con carácter general, en los casos de VAN positivos no son valores especialmente relevante puesto que son proyecto de gran envergadura.

Como corolario, indicar que los resultados menos pesimistas en conjunto son para el Tranvía de Parla y, por el contrario, los datos finales en global menos satisfactorios en este supuesto corresponden a la línea ML1.

-En el caso de las líneas de metro ligero contrastadas con el uso del autobús, los resultados alcanzados se resumen de la siguiente forma. En primer lugar, tanto en el modelo inicial como en el modelo con variante, la línea ML1, como sucedía al comparar con el vehículo privado da lugar a VAN menores que cero en cualquier escenario, a TIR menores a la TSPT y, en este caso, de valor negativo -7,5% en el modelo inicial y a ratios coste beneficio que no alcanzan en ningún caso el 0,6.

En el modelo inicial, tanto en las líneas ML2 y ML3 como en el tranvía de Parla, en los escenarios 1 y 3, el VAN es negativo, la TIR es inferior a la TSPT y el VAN costes supera al VAN beneficios. Sin embargo en el escenario 2, la ratio coste beneficio es superior a uno, la TIR sobrepasa a la TSPT y el VAN es positivo.

Respecto al modelo con variante, en el caso de las líneas ML2 y ML3 el VAN es negativo para cualquier escenario y en el Tranvía de Parla, los escenarios 1 y 2 que dan valores de VAN positivos son poco significativos para este tipo de proyectos.

Adicionalmente, de forma general, señalar que los resultados menos deseables en este caso son para la línea ML1, siendo los más favorables para el Tranvía de Parla según el modelo elaborado.

-Comparando entre las alternativas metro ligero Vs. autobús y metro ligero frente a vehículo privado, de acuerdo con el modelo ACB construido, se puede concluir que el metro ligero obtiene peores resultados en comparación con el autobús.

También, se deduce que, de establecer una alternativa de transporte público, con carácter general, es preferible implantar líneas de autobuses por las zonas por las que transcurriría el metro ligero que la construcción del mismo. Adicionalmente, se puede indicar que, a la vista de los resultados, el metro ligero genera más externalidades positivas comparándolo con el vehículo privado que con el autobús en cuanto a la contaminación ambiental y el nivel de accidentes. Por el contrario, el vehículo privado al tener la velocidad comercial mayor que los otros dos medios de transporte considerados genera mayor ahorro de tiempo. En cuanto a la contaminación acústica, el metro ligero respecto al autobús origina una mayor externalidad positiva debido a que el autobús produce mayor ruido.

-Los datos de demanda constituyen uno de los elementos claves para la obtención de los resultados, influyendo en la decisión de acometer o no los proyectos.

-Los altos costes de inversión, tanto inicial como de reposición, y operativos, que conlleva la construcción y mantenimiento de los metros ligeros, inciden también de manera decisiva en dicha decisión.

-La tasa social de preferencia temporal es inversamente proporcional al VAN económico, lo que supone que cuanto menor sea la preferencia de la sociedad por el consumo presente frente al futuro, el VAN y TIR del proyecto aumentan. De esta forma, se ha podido comprobar en los diferentes escenarios, el escenario 2 aportaba valores superiores de VAN frente a los menores del escenario 3.

-En base al análisis de sensibilidad realizado, un aumento de demanda del uso de tranvía mejora los resultados, en todos los casos y para cualquier escenario, debido fundamentalmente a las externalidades positivas que los metros ligeros reportan.

-Por último, desde un punto de vista económico-social, los proyectos deberían realizarse, siempre y cuando el VAN económico social arrojara valores positivos. No obstante, si se parte de un VAN económico social positivo, tomando como referencia una demanda estimada inicial que, posteriormente resultara, superior a la real, como así se ha demostrado en esta tesis doctoral, se corre el riesgo de que, finalmente, el proyecto no resulte rentable en la práctica.

Por ello, se recomienda respecto a la evaluación sobre un determinado proyecto transporte se recomienda incluir en los estudios de viabilidad no sólo un análisis financiero sino también económico social, con carácter previo.

Asimismo, se considera también oportuno sugerir, como así se ha hecho en esta tesis doctoral, un análisis posterior en el que se realice una comparación entre el modelo inicial, -con demanda estimada efectuado *a priori* en el correspondiente estudio de viabilidad-, y un nuevo modelo que tenga que cuenta los efectos de la demanda real (modelo con variante). Los aspectos indicados particularmente útiles, puesto que permiten obtener unas conclusiones más completas y fundamentadas sobre un proyecto.

Por último, se estima preciso complementar la técnica del ACB con instrumentos de medición como el análisis multicriterio y, especialmente, la simulación Montecarlo tal y como se expondrá en los capítulos siguientes de esta tesis doctoral, para aportar una mayor robustez y firmeza los resultados obtenidos en el ACB.

4. METODOLOGÍAS ALTERNATIVAS PARA EL ANÁLISIS DE LA EFICACIA Y DE LA EFICIENCIA EN LAS CONCESIONES DEL TRANSPORTE PÚBLICO URBANO: EL CASO DEL METRO LIGERO (I): ANÁLISIS MULTICRITERIO.

4.1.Introducción

El análisis multicriterio (AMC) es una metodología de evaluación de efectos económicos, sociales y ambientales, que permite identificar las partes de un sistema, reconocer el peso y los vínculos entre las mismas y proponer una solución racional. Con este método se concretan unos criterios para evaluar el grado de cumplimiento de los objetivos, y unos indicadores con los que se cuantifican los criterios.

El concepto de utilidad es importante porque el último estadio de este método es el cálculo de la utilidad total que reporta un proyecto. Este beneficio global en términos de utilidad es la suma ponderada de los beneficios individuales que aporta cada criterio aislado. El beneficio global representa la contribución del proyecto al desarrollo sostenible (Cascajo, 2004).

En este capítulo se expone la metodología del AMC y se realizará una aplicación práctica de la misma en el campo del transporte urbano público, en concreto, en las concesiones de las líneas de metro ligero de la Comunidad de Madrid (ML1 (Pinar de Chamartín-Sanchinarro-Las Tablas), ML2 y ML3 (Colonia Jardín-Pozuelo de Alarcón y Boadilla del Monte) y el tranvía de Parla).

La aportación de esta tesis con el AMC consiste en complementar el modelo coste beneficio elaborado en el capítulo anterior. Se trata por tanto de dar una perspectiva adicional para la toma de decisiones y, en particular, en las citadas líneas de metro

ligero. De esta forma puede constituir una herramienta útil en la elaboración de los estudios de viabilidad de proyectos de gran envergadura.

4.2. Análisis Multicriterio (AMC) en las concesiones del transporte público urbano: Metodología

El análisis multicriterio aplica una métrica a cada uno de los impactos medidos para transformar los valores multidimensionales de esos impactos en una escala unidimensional de manera que los resultados se puedan comparar y resumir mediante una función de utilidad multiatributo (Gühnemann, A., 2011). Una de las características principales de las metodologías multicriterio es la diversidad de factores que se logran integrar en el proceso de evaluación.

En el marco del análisis multicriterio, se pueden distinguir dos tipos de análisis desde el punto de vista temporal: (European Commission, 2005).

1) En evaluación ex ante o intermedia

En este caso, el análisis multicriterio se emplearía por las siguientes razones:

- Evaluar la capacidad de diversas acciones de un programa para alcanzar un determinado objetivo. Este trabajo puede realizarse para registrar las valoraciones sobre su eficacia por parte de responsables y beneficiarios.
- Estructurar las valoraciones de los responsables de proyecto o de programa sobre acciones en curso.
- Discutir sobre el contenido de los programas y las asignaciones de los recursos entre acciones durante la elaboración de las estrategias y los programas.

2) En evaluación ex post

En países en desarrollo la introducción de este tipo de análisis en áreas como la lucha contra la pobreza, el mantenimiento de la seguridad, el control de la inmigración o el desarrollo del comercio sería sin duda de utilidad para formular juicios sobre esas estrategias complejas. Más concretamente, las fases por las que transcurrirá el análisis multicriterio realizado, se exponen a continuación:

Tabla 4.1. Etapas del Análisis Multicriterio
1) Determinar el ámbito de aplicación.
2) Identificar y seleccionar los objetivos.
3) Definir los criterios de juicio (medición del objetivo).
4) Determinar los indicadores (valor del criterio).
5) Normalización de los indicadores (obtención de las funciones de utilidad).
6) Ponderación de los criterios realizados por un grupo de expertos (asignación de pesos a los criterios).
7) Cálculo de las utilidades sociales ponderadas de cada indicador, a partir de las funciones de utilidad normalizadas y de la asignación de pesos una vez normalizados.
8) Agregación de las utilidades sociales ponderadas para la obtención de la utilidad total.
9) Posibilidad de realizar un análisis de sensibilidad.

Fuente: Elaboración propia.

1) Determinar el ámbito de aplicación.

En esta fase, se define el año para el que se realiza el estudio y, en su caso, la posibilidad de efectuar posteriormente un análisis de sensibilidad en la etapa final.

2) Identificar y seleccionar los objetivos.

Teniendo en cuenta la búsqueda del bienestar general bajo una serie de aspectos económicos, sociales y medio ambientales, materializados en los criterios de la siguiente fase.

3) Definir los criterios de juicio (medición del objetivo).

En esta etapa, para medir los objetivos, se determinan los criterios que serán valorados a su vez por una serie de indicadores en la fase siguiente. Para definir los criterios se pueden atender a los beneficios de índole económica, social y medio ambiental obtenidos con el proyecto de transporte que se vaya a acometer. Así por ejemplo, dentro de los económicos podemos señalar aquellos relacionados con la generación de riqueza, la creación de empleo o el crecimiento económico, de carácter social, la mejora en la accesibilidad o la regeneración urbana y de tipo ambiental, la reducción del efecto invernadero o la calidad del aire urbana.

4) Determinar los indicadores (valor del criterio).

Los indicadores constituyen la concreción y cuantificación del criterio. En ocasiones, los indicadores coinciden con el propio criterio, especialmente cuando se trata de criterios de carácter cualitativo, que no tienen una fórmula de cálculo claramente definida al menos *priori*. Tal es el caso de la regeneración urbana o la equidad. En estos supuestos, para su cuantificación se suele recurrir a encuestas, con lo que el resultado se extrae de las opiniones de los expertos derivadas de dichas encuestas. Por el contrario, con carácter general, si se trata de criterios cuantitativos, los indicadores representan el

modo de cálculo, ejemplos de ellos serían la reducción del tiempo de viaje o el aumento de la eficiencia económica.

5) Normalización de los indicadores (obtención de las funciones de utilidad).

Aunque no siempre se hace en muchos análisis multicriterio, resulta esencial proceder a la normalización de los diferentes criterios en consideración. La normalización es necesaria, al menos por los tres tipos de razones que exponemos seguidamente.

En primer lugar debe de tenerse en cuenta que en la mayor parte de los contextos decisionales las unidades en que están medidos los diferentes criterios suelen ser muy diferentes.

En segundo lugar debe asimismo tenerse en cuenta que en muchos problemas multicriterio, los valores alcanzables por los diferentes criterios pueden ser muy diferentes.

En tales casos, sin una normalización previa de los criterios los métodos multicriterio pueden conducirnos a soluciones sesgadas hacia los criterios con valores alcanzables mayores.

Finalmente, facilita a los centros decisores realizar las tareas comparativas entre criterios cuando trabajan con valores normalizados de los mismos en vez de con sus correspondientes valores originales.

A continuación se señalan los procedimientos de normalización de criterios más utilizados: (European Commission, 2005).

- Dividir los valores que alcanza el criterio por su valor “mejor”. El valor mejor es el máximo cuando el criterio consiste en un atributo del tipo “más mejor” o el mínimo cuando se trata de un atributo del tipo “menos mejor”.

Este criterio es el que se va a utilizar en la presente tesis doctoral. En concreto, se tomará la consideración del tipo “más mejor” dadas las características de los atributos analizados.

- Dividir los valores que alcanza el criterio por su recorrido. Se entiende por recorrido la diferencia entre el valor “mejor” y el valor “peor” alcanzado por cada criterio.
- Restar al “mejor” valor el que realmente alcanza el criterio, dividiendo seguidamente dicha diferencia por el correspondiente rango.

6) Ponderación de los criterios realizados por un grupo de expertos (asignación de pesos a los criterios).

En efecto, en muchos casos de la vida ordinaria, los centros decisores no desean ordenar las soluciones factibles con arreglo a un único criterio, sino que desean efectuar esta tarea con arreglo a diferentes criterios que reflejen sus particulares preferencias. Los criterios relevantes en un problema decisional pueden tener diferente importancia para el centro decisor. Este hecho hace que en muchos problemas decisionales resulte necesario obtener unos pesos o indicadores de las preferencias relativas del centro decisor por unos criterios con respecto a otros. Conviene indicar que así como la tarea de normalizar criterios requiere exclusivamente una información de tipo técnico, la estimación de las preferencias relativas conlleva una fuerte carga subjetiva lo que hace necesario que para estimar dichos pesos preferenciales tengamos que interaccionar de una manera u otra con el centro decisor.

7) Cálculo de las utilidades sociales ponderadas de cada indicador

Una vez obtenidas las funciones de utilidad normalizadas y, realizada la asignación de pesos una vez normalizados, se procede al cálculo de las utilidades sociales ponderadas por indicador.

8) *Agregación de las utilidades sociales ponderadas para la obtención de la utilidad total.*

La agrupación de las utilidades sociales ponderadas permitirá simplificar el resultado de la utilidad en un valor final.

9) *Posibilidad de realizar un análisis de sensibilidad.*

Si así se considera oportuno, en la fase última se puede realizar un análisis de sensibilidad para determinar cómo varía el resultado en función de la modificación de alguna de las variables clave, por ejemplo, la demanda.

Los cambios en dichas variables se realizan para ver cómo afectan a los resultados. En ese sentido, el hecho de que haya pocos cambios entre los resultados iniciales y los obtenidos como consecuencia de la realización del análisis de sensibilidad, otorga mayor fiabilidad de los resultados iniciales.

Por otro lado, como todo método tiene diferentes ventajas como son las siguientes:

Simplificación y utilidad

Esta técnica es especialmente útil para simplificar situaciones complejas. Además, las bases sobre las que se realiza la selección de los criterios y la puntuación de los resultados son a menudo sencillas, comprensibles y determinadas por el grupo que conduce el análisis.

El método constituye una herramienta de negociación de gran utilidad en las discusiones entre los usuarios. Por ejemplo, en relación con los transportes y el medio ambiente, realiza una evaluación de aspectos ambientales, sobre las condiciones de las infraestructuras viales siguiendo una serie de criterios no complejos (Jiménez, 2010) o permite analizar las variables aplicadas con mayor frecuencia para reducir el impacto

ambiental en el diseño y planificación de proyectos de transporte (Loro Aguayo et. al, 2012).

Método racional

El método racionaliza el proceso que conduce a las decisiones permitiendo la reordenación de los efectivos y elementos materiales en un proyecto (Lavilla y Bárzana, 2013).

Evaluación simultánea del logro de los objetivos

Esta metodología es una herramienta de apoyo a la toma de decisiones que permite: definir el problema que se desea resolver, identificar los criterios discriminantes en la toma de decisiones, trabajar con un equipo multidisciplinario, estructurar los criterios y subcriterios en una jerarquía, determinar la importancia de cada criterio en términos de ponderadores y sintetizar toda esta información para tomar la mejor decisión. En definitiva, llegar a un resultado en consenso mediante una evaluación simultánea del logro de los objetivos.

A diferencia de ACB, en el que el analista atribuye pesos a varios objetivos y es responsable de la agregación de los efectos del proyecto, en el análisis multicriterio el decisor es el que asigna los pesos a los objetivos y además está involucrado en la fase de evaluación final, evaluando simultáneamente el nivel en que se logran los objetivos, independientemente de su capacidad de ser monetizados e incluso cuantificados con precisión (Izquierdo, 1994). Para ello se definen una serie de indicadores que permitan medir el cumplimiento de los criterios definidos y compararlo con otras alternativas.

Por otro lado, el análisis multicriterio puede ser una técnica subjetiva en la que la ponderación de los criterios se realiza utilizando las opiniones de expertos o decisores, o bien estos pesos dependen de objetivos políticos, de manera que se puede malinterpretar el resultado global del proyecto en el contexto de la evaluación y, por tanto, hay quienes consideran que es un método de evaluación algo arbitrario (Grant-Muller et al., 2001).

En ocasiones, existen dificultades operativas para seleccionar las acciones o alternativas a estudiar, para definir los criterios de comparación y elaborar las tablas de puntuación. En cualquier caso, es una técnica idónea de apoyo para el órgano gestor de un proyecto.

4.3.Revisión de la literatura

En muchos casos a través de la historia, las crisis, nos han impulsado a ser creativos e inventar. Este ha sido también el caso una disciplina conocida como "*Operations Research*", que no es otra cosa que la aplicación de las matemáticas a problemas prácticos, y de la cual el Análisis Multicriterio se desprende como una de sus ramas (Sanchez-Lopez, R., 2005). Las técnicas como la citada se dirigen hacia la medición de lo intangible, utilizando el método científico como plataforma para plasmar el conocimiento tácito de una determinada actuación dentro de un marco de racionalidad.

Por otro lado, la evaluación de los proyectos de transporte tradicionalmente se han centrado en los aspectos económicos y financieros del proyecto y sus efectos directos, pero esto no se considera suficiente para justificar estas inversiones (Cascajo, 2004).

Los proyectos de transporte público guiado requieren unas inversiones muy elevadas para su construcción y mantenimiento, y para calcular el beneficio que realmente proporcionan a la sociedad se requiere, en algunos casos, la realización de una evaluación socioeconómica más allá de la tradicional, que incluya los efectos sociales y ambientales, no tenidos en cuenta en las metodologías existentes. En ese sentido, en materia de transporte, el análisis multicriterio es una herramienta útil para explicar qué trazados son los más adecuados de cara a optimizar los efectos positivos de desarrollo y progreso, detectar los elementos no eficientes en proyectos de infraestructuras (Aparicio, 2010), así como constituye una metodología muy válida para la ordenación del tráfico. Con carácter general, los estudios AMC en materia de transporte concluyen que se trata de un buen instrumento para la evaluación de la sostenibilidad económica, social y medio ambiental. En el siguiente cuadro se presenta una revisión de la literatura:

Tabla 4.2. Revisión de la literatura del Análisis Multicriterio (AMC) en materia de transporte

Autor	Objetivo del Trabajo y metodología	Resultados y aportaciones
García Utrera, J.L. (2002).	AMC para tratar de hallar los trazados más adecuados de cara a optimizar los efectos positivos de desarrollo y progreso que una infraestructura de este tipo produciría a nivel territorial en Extremadura en el cambio de siglo.	Los trazados que discurren por Mérida y Badajoz crean mayor vertebración de la región y tienen unas consecuencias mucho más favorables que otros, donde el trazado no conecta en altas prestaciones las tres ciudades más importantes de Extremadura: Cáceres, Mérida y Badajoz. Entre las aportaciones destacar la vinculación del desarrollo regional e infraestructura en una región.
Cascajo Jiménez, R. (2004).	Evaluar es la sostenibilidad, o desarrollo sostenible, y los sub-objetivos son la sostenibilidad económica, social y ambiental de distintos metros ligeros y suburbanos de Europa en los primeros años del siglo XXI.	No existe una clara relación entre tamaño de la ciudad y el modo de transporte guiado más indicado para la misma. Los proyectos guiados, tanto los de alta como de media capacidad, deberían ir acompañados de autobuses feeder y poseer un sistema tarifario integrado; la competencia entre modos de transporte público no beneficia en absoluto al buen funcionamiento de este sistema en las ciudades. Este trabajo realiza como aportación la aplicación de la financiación mixta como más ventajosa en el momento analizado en este tipo de proyecto dados los elevados costes de construcción y mantenimiento.
Aparicio A. (2010).	AMC para identificar qué elementos justifican una continuidad de una política fuertemente inversora, con escasa rentabilidad socioeconómica y poco coherente con el desarrollo sostenible.	Entre las aportaciones de este estudio destacar la aplicación del análisis multicriterio como herramienta útil para la detección de elementos no eficientes en proyectos de infraestructuras.

Primelles Fariñas, J. y Lao Ramos, B. (2010).	Evaluación espacial y del medio ambiente urbano en Cuba desde la perspectiva del AMC.	Como aportación destacar el análisis del comportamiento de los indicadores del estado de los paisajes residenciales y no residenciales, evidenciando la diferenciación espacial de la problemática ambiental urbana.
Neri, M. y VV.AA (2010)	AMC para definir la mejor localización en el territorio de nuevos proyectos de infraestructuras viarias y su convalidación en una carretera que forma parte de un proyecto de gran envergadura.	Este trabajo realiza como aportación la necesidad de elaborar un trazado de un mapa general del territorio, analizado en términos de aptitud global para la introducción de un nuevo proyecto viario, de manera que sirva como soporte básico para identificar, a partir de la selección de las poblaciones a enlazar entre sí, un recorrido ideal y un pasillo más amplio de impacto reducido dentro del que los técnicos puedan definir previsiones operativas adecuadas, no sólo desde un punto de vista técnico y de proyecto, sino también de la sostenibilidad global de la obra.
Jiménez, F. B. G y VV.AA. (2010)	AMC de infraestructuras viales que base de las actividades recreativas en los espacios naturales.	Este trabajo concluye con una evaluación es positiva, aportando básicamente la repercusión del impacto ambiental sobre las condiciones de las infraestructuras viales.
González, E. y VV.AA (2012).	Análisis del establecimiento del corredor ferroviario de mínimo impacto ambiental entre Huelva (España) y Faro (Portugal) en el siglo XXI.	La ventaja del corredor es que permite un grado de libertad al decisor ya que, en muchas ocasiones, no es posible respetar en su totalidad el trazado de mínimo impacto obtenido debido a factores externos al estudio. Este estudio basa su aportación en la consideración de aspectos no sólo económicos, poniendo de manifiesto la importancia de la decisión final de la autoridad pública.
Loro Aguayo, M. y VV.AA. (2012).	Evaluar las variables aplicadas con mayor frecuencias para reducir el impacto ambiental en en el diseño de carreteras del siglo XXI.	La calidad media de los estudios realizados para la Fase A (caracterización territorial, definición de corredores, definición de alternativas de trazado y selección de corredores y alternativas) de los Estudios Informativos es aceptable en términos generales. Las aportaciones de este estudio se centran en la importancia de reducir el impacto ambiental en el diseño de carreteras.

Albarracín Sosa, D. (2013).	AMC para la recolección de información para caracterizar la demanda de viajes urbanos e interurbanos de personas, empleando las cadenas de viajes como la unidad de análisis técnico.	Con respecto a la distribución de viajes por medio de transporte, se evidencia que predomina el transporte a pie, si la distancia a recorrer por los habitantes de una zona para acceder a los bienes y servicios que necesitan para su desarrollo diario es corta, seguido del autobús y el coche privado. Entre las aportaciones de este estudio destacar la innecesaria realización de costosos proyectos de infraestructura para distancias cortas.
Hermo García, M. (2013).	Tomando como referencia el caso del tranvía de Zaragoza, analiza en base al AMC los aspectos para evaluar un proyecto de transporte.	Este estudio pone de manifiesto en sus conclusiones la importancia de contar con un estudio de demanda completo y detallado. Entre las aportaciones destacar la necesidad de completar el AMC a la hora de analizar un proyecto.
Lavilla Menéndez, M.V. y Bárzana González, J. (2013).	AMC para la reordenación de los autobuses urbanos en Oviedo en el siglo XXI.	Una vez que se realiza la inversión inicial en vehículos e infraestructura, se observa que la mayor parte de dichos costes corresponde a la operación de los autobuses y a la renovación de toda la flota de autobuses ya existentes. La aportación de este trabajo radica en la búsqueda la mayor concentración del coste de un proyecto de infraestructuras.
Camilo, A. y Alexander, M. (2014).	AMC para la determinación de un corredor entre la Zona Metropolitana de la Ciudad de México y la Zona Metropolitana de Puebla.	Para la realización del proyecto Tren Interurbano de pasajeros México – Puebla”, llegó a la conclusión que el proyecto resultó no ser rentable, debido a la alta inversión que requiere un proyecto de ésta magnitud. La realización de este estudio permite aportar la necesidad de aplicación de metodologías como el AMC para analizar la viabilidad de un proyecto.
Corbacho, I. (2015)	AMC para evaluar la sostenibilidad en proyectos de inversión en transporte urbano.	Obtención de un índice de valor para cada alternativa que permite que puedan ser comparadas, concluyendo en la mejor opción de inversión.

Fuente: Elaboración propia.

A la vista de los estudios consultados se pueden observar algunos aspectos comunes a todos. En primer lugar, realizan una evaluación de proyectos de transporte e infraestructuras.

En segundo lugar, al igual que en esta tesis, se trata de proyectos de envergadura que requieren de importantes inversiones y que suponen vincular a los mismos un considerable montante de recursos.

Con carácter general, son trabajos que muestran una preocupación por los efectos del proyecto más allá de la puramente económico-financiera, incluyen factores, de tipo medioambiental y social, de forma análoga a esta tesis doctoral.

Lo mismo sucede con la importancia por el volumen de la demanda, tal es el caso del estudio de Albarracín (2013) o Hermo (2013), o los costes que conllevan este tipo de inversiones Camilo y Alexander (2014).

Por otro lado, en materia ferroviaria o similar, son varios los trabajos que han analizado esta temática, por ejemplo, Cascajo (2004), González et al. (2012), Hermo (2013) o Camilo y Alexander (2014).

Asimismo, son materias evaluadas en los trabajos anteriores, el autobús Lavilla y Bárzana (2013) o Albarracín Sosa (2013), carreteras Neri et al. (2010) o Loro et al. (2012).

En cualquier caso, son trabajos que han analizado proyectos ligado a políticas de transportes e infraestructuras con una previsión a largo plazo y que tienen repercusiones de diversa índole no sólo para aquellos que son usuarios directos, sino también para las regiones por las que transcurren.

4.4. Decisiones metodológicas para la aplicación empírica de la metodología del AMC a las concesiones de transporte público urbano

En esta tesis doctoral, tras la aplicación del ACB se empleará de manera complementaria el análisis multicriterio. Su aportación, por tanto, se dirige a ofrecer un estudio integral de un proyecto, en este caso, la construcción de los metros ligeros de la Comunidad de Madrid, puesto que se da la posibilidad de contrastar resultados a partir de una técnica u otra.

En este capítulo se elabora un análisis multicriterio *ex post* para obtener la utilidad total que reportan las líneas de metro ligero de la Comunidad de Madrid, una vez construidas y en operación. Se van analizar estas líneas de metro ligero en términos relativos, es decir, por un lado, respecto al vehículo privado y, por otro lado, respecto al autobús.

Las decisiones metodológicas que se han tomado se describen a continuación en función de las fases por las que transcurre el análisis multicriterio construido:

1) Determinación del ámbito de aplicación.

El estudio se realiza para el año 2013 (último dato de que se dispone en el momento de elaboración del estudio)⁴⁷.

2) Identificación y selección de los objetivos.

El proyecto ha de contribuir al bienestar general teniendo en cuenta una serie de aspectos económicos, sociales y medio ambientales.

En este caso se trata de determinar si la construcción de las citadas líneas de metro ligero de la Comunidad de Madrid reporta bienestar social en términos no sólo económicos, sino también sociales y medio ambientales.

⁴⁷ Vid Informe anual del Consorcio de Transportes de Madrid de 2013.

3) *Definición de los criterios y de los indicadores:*

En primer lugar se definen los criterios, es decir, el conjunto de aspectos que se consideran que se deben tener en cuenta como medidas influyentes en la consecución de los objetivos que se pretenden alcanzar con un determinado proyecto.

En consecuencia, los objetivos se medirán a través del conjunto de *criterios*, cuyos valores vienen dados por una serie de *indicadores*. Con carácter general, se aplican los indicadores a dos situaciones: un escenario de referencia (sin proyecto) y un escenario de real (con proyecto) y se comparan ambos escenarios, obteniendo una medición en términos relativos.

En la presente tesis, el escenario de referencia consistirá en el empleo del vehículo privado o el autobús (según el medio de transporte alternativo sin la existencia del metro ligero) y el escenario real incluirá el tranvía construido.

La conjunción entre el escenario real y el de referencia permitirá extraer conclusiones sobre la contribución de las líneas de metro ligero estudiadas al bienestar general en términos de utilidad total.

Los criterios se medirán mediante el valor obtenido de los indicadores. El indicador es, por tanto, la cuantificación del criterio inicialmente definido para el estudio del objetivo primeramente fijado.

En concreto, los criterios e indicadores utilizados van a ser los siguientes:

Tabla 4.3. Definición de criterios e indicadores	
Criterios	Indicadores
Reducción del tiempo de viaje	Ahorro del tiempo de viaje en términos relativos (minutos)
Eficiencia económica	Diferencia relativa entre el cociente de los ingresos tarifarios y los costes de operación expresados en precios sombra (Euros)
Incremento del uso del transporte público	Porcentaje del número de pasajeros que emplean la línea de metro ligero correspondiente respecto al autobús urbano o al transporte privado ⁴⁸
Disminución de la contaminación atmosférica (DCA)	Reducción de la emisión de gases contaminantes (Tonelada/año) ⁴⁹
Disminución del efecto invernadero	Reducción de la emisión de CO2 en términos relativos ⁵⁰ (Tonelada/año)
Niveles de ruido	Porcentaje de personas más o menos afectadas consecuencia de la implantación de la nueva infraestructura de transporte (Pr) ⁵¹
Mejora de la seguridad vial	Reducción anual de los costes de accidentes en términos relativos

Fuente: Elaboración propia.

- 4) Obtención de las *funciones de utilidad*. Las funciones de utilidad de cada criterio son el valor normalizado de cada indicador, de manera que estarán comprendidos entre 0 y 1. Se asigna a cada indicador, el valor de la función de utilidad resultante de dividir cada indicador entre el máximo de los valores del indicador de cada una de las líneas de metro ligero objeto de estudio. De esta forma, el valor 1 se asigna al mayor valor del indicador y 0, si el indicador es menor o igual a cero. Con ello se consiguen las utilidades sociales individuales

⁴⁸ Dependiendo de si estamos comparando el metro ligero con el autobús o con el transporte privado. Fórmula empleada también en Cascajo Jiménez (2004).

⁴⁹ CO: Monóxido de carbono, SO2: Dióxido de azufre, NOx: Óxidos de nitrógeno, Pb: Plomo, PM: Otras partículas en suspensión en el aire. Para simplificar se ha supuesto la misma emisión de gases contaminantes para todas las líneas. La fórmula empleada para su cálculo, siguiendo el estudio de Cascajo (2004), es la siguiente DCA: $CO+125NOx+100SO2+5000Pb+100PM$.

⁵⁰ CO2: Dióxido de carbono. Para simplificar se ha supuesto la misma emisión de gases contaminantes para todas las líneas.

⁵¹ Este enfoque, en términos de tráfico rodado para la medición del ruido, se basa en la metodología austríaca (Sammer & Wernesperger, 1994). VKref y VKreal hacen referencia a los vehículos-km en el escenario real y de referencia. La fórmula empleada para el cálculo de este indicado es la siguiente: $Pr = 37,5 * [\log_{10}(VKref) - \log_{10}(VKreal)]$, tomada del trabajo de Cascajo (2004).

de cada uno de los criterios, es decir, la utilidad que representa cada criterio en la contribución al bienestar social.

- 5) Ponderación de los criterios mediante la *asignación de pesos* a los criterios. En esta fase, se ponderan los valores normalizados de los criterios (indicadores) con una serie de coeficientes calculados previamente por expertos. En este caso, el estudio de Cascajo (2004) han tomado ponderaciones para una serie de medios de transporte en Europa, incluyendo los tranvías de Manchester y Valencia.

Dado que en el presente estudio se analizan también líneas de metro ligero se utilizarán las ponderaciones de los tranvías de Manchester y Valencia por analogía.

A pesar de que los pesos asignados por los expertos de los casos de estudio son diferentes, el estudio de Cascajo (2004) utiliza los mismos pesos para todos los casos de estudio, y de esta manera obtener unos resultados finales comparables.

De forma análoga para el presente estudio, el peso de cada criterio será la mediana de los pesos medios de los diferentes casos de estudio, con el fin de evitar resultados incongruentes. Los resultados obtenidos se presentan en la siguiente tabla.

Tabla 4.4. Resultados de la ponderación de criterios				
	Manchester	Valencia	Mediana	Varianza
Reducción Tiempo de viaje	7,5	7,5	7,5	0
Eficiencia económica	5,1	6,5	5,8	0,98
Incremento del uso del Transporte Público	8,2	8,3	8,25	0,005
Disminución contaminación atmosférica	5,4	8	6,7	3,38
Disminución Efecto Invernadero	5,4	8	6,7	3,38
Niveles de Ruido	5,4	8	6,7	3,38
Mejora de la seguridad vial	5,36	7,3	6,35	1,805

Fuente: Cascajo, 2004.

Las varianzas de los pesos medios indican las desviaciones, respecto de la media, de dichos valores, es decir, que a mayor varianza mayor es la variación entre el valor medio asignado a los criterios por cada caso de estudio y la media de todos los casos por criterio.

A continuación se presentan los criterios ordenados de menor a mayor según el peso que se les ha asignado:

Tabla 4.5. Normalización de los valores medianos de los criterios por peso asignado (de menor a mayor)		
Criterios	Valor de la Mediana	Mediana Normalizada
Eficiencia económica	5,8	9,906063194
Mejora de la seguridad vial	6,35	10,84543126
Niveles de Ruido	6,7	11,44321093
Disminución Efecto Invernadero	6,7	11,44321093
Disminución contaminación atmosférica	6,7	11,44321093
Reducción Tiempo de viaje	7,5	12,80956447
Incremento del uso del Transporte Público	8,25	14,09052092

Fuente: Elaboración propia.

6) Cálculo de las *utilidades sociales ponderadas*.

Después del proceso de ponderación de criterios, se calculan las *utilidades sociales ponderadas* de los casos de estudio, que se obtienen como el producto de las funciones de utilidad por los criterios ponderados.

7) Por último, se realiza la agregación de las utilidades sociales ponderadas para la obtención de la *utilidad total*.

8) De forma complementaria se puede realizar un análisis de sensibilidad.

En el presente estudio, se realizará el análisis de sensibilidad variando la demanda del año 2013 (último dato de que se dispone en el momento de elaboración del estudio), respecto a los datos de demanda real anual de 2007

(año de puesta en funcionamiento de las líneas de metro ligero estudiadas). Los datos de demanda anual para 2007 se muestran en la siguiente tabla:

Tabla 4.6. Demanda Anual Año 2007	
Líneas de Metro Ligero	Demanda Real Anual
ML1	1.721.229,00
ML2 Y ML3	2.246.761,00
Tranvía de Parla	1.522.589,00

Fuente: CRTM, 2007.

Con respecto al año 2013, los datos de demanda anual se exponen seguidamente:

Tabla 4.7. Demanda Anual Año 2013	
Líneas de Metro Ligero	Demanda Real Anual
ML1	4.405.352
ML2 Y ML3	5.547.866
Tranvía de Parla	4.517.978

Fuente: CRTM, 2013.

4.5. Aplicación empírica de la metodología del AMC a las concesiones de transporte público urbano: las líneas de metro ligero en la Comunidad de Madrid

A continuación se van a presentar los resultados obtenidos de la aplicación práctica del análisis multicriterio (AMC), ofreciendo otra alternativa de estudio para los metros ligeros de la Comunidad de Madrid (ML1 (Pinar de Chamartín-Sanchinarro-Las Tablas), ML2 y ML3 (Colonia Jardín-Pozuelo de Alarcón y Boadilla del Monte) y el tranvía de Parla).

4.5.1. Metro Ligero Pinar de Chamartín -Las Tablas- Sanchinarro (ML1)

a) Metro Ligero Vs Vehículo Privado

Para el supuesto de la línea de metro ligero ML1 frente al vehículo privado, en el modelo inicial la utilidad total es de 52,09 y con posterioridad al análisis de sensibilidad realizado (demanda del año de puesta en funcionamiento), es decir, para un nivel de demanda menor, la utilidad total ha sido de 48,044.

Consecuencia del análisis de sensibilidad y dado que la demanda en 2013 es mayor que en 2007, la utilidad total en el modelo inicial es mayor que una vez aplicada la variación de la demanda del año 2007 respecto del año 2013.

Tanto en el modelo inicial como en el análisis de sensibilidad, los indicadores sobre la reducción del tiempo de viaje y la mejora de la seguridad vial han arrojado valores negativos.

Los demás indicadores de eficiencia económica, incremento del uso del transporte público, la disminución de la contaminación atmosférica, la disminución del efecto invernadero y los niveles de ruido han alcanzado valores superiores a cero, en particular en el modelo inicial, este último en primer lugar, seguido de la eficiencia económica.

No obstante, la reducción del tiempo de viaje, a pesar de ser negativo, es poco significativo porque ha dado como resultado un valor muy próximo a cero.

Tabla 4.8. Resultados Análisis Multicriterio. ML1 Vs Vehículo Privado					
Modelo Inicial				Análisis de sensibilidad	
Criterios	Indicadores	Función de Utilidad	Utilidades sociales ponderadas	Indicadores	Utilidades sociales ponderadas
Reducción del tiempo de viaje	-0,000233	0	0	-0,0002325	0
Eficiencia económica	1,725334	0,850083589	8,420981755	0,598259	2,919972136
Incremento del uso del transporte público	0,001490	0,663	9,34201	0,000473	10,7946565
Disminución de la contaminación atmosférica (DCA)	0,974857	1	11,44321093	0,974857	11,44321093
Disminución del efecto invernadero	0,994465	1	11,44321093	0,994465	11,44321093
Niveles de ruido	4,036285	1	11,44321093	4,036285	11,44321093
Mejora de la seguridad vial	-0,219513	0	0	-0,219513	0
Utilidad total			52,09262992	Utilidad total	48,04426143

Fuente: Elaboración propia.

b) Metro ligero Vs Autobús

En cuanto al caso de la línea de metro ligero ML1 y el autobús, los resultados derivados de la aplicación del AMC se presentan en este apartado, poniendo de manifiesto el valor de la utilidad tanto para el modelo inicial como para el modelo con análisis de sensibilidad mediante una variación de la demanda.

En el modelo inicial la utilidad total es de 52,10, ligeramente superior que el supuesto de comparar la línea ML1 de metro ligero con el empleo del vehículo privado.

Respecto al valor de la utilidad total, en el marco del análisis de sensibilidad realizado, la utilidad total ha sido de 49,237, también mayor que al comparar la línea ML1 con el uso del vehículo privado.

Dado que la demanda en 2007 (situación en el análisis de sensibilidad) es menor que 2013 (modelo inicial), la utilidad total en el modelo inicial es mayor que una vez aplicada la disminución de la demanda, es decir, el paso del nivel de demanda al año de puesta en marcha de la línea ML1 (año 2007).

En cuanto al valor de los indicadores del modelo inicial, los únicos que han resultado ser negativos han sido la reducción del tiempo de viaje y la mejora de la seguridad vial, el resto han dado valores positivos, si bien la reducción del tiempo de viaje ha sido escasamente negativo y la mejora de la seguridad de vial, a pesar de su valor menor que cero, ha permanecido un valor inferior a la unidad negativa.

Asimismo, en el modelo inicial, después del indicador de los niveles de ruido, la eficiencia económica ha sido el indicador que ha alcanzado un mayor valor en positivo.

Los indicadores que han contribuido en la utilidad total son la eficiencia económica, incremento del uso del transporte público, disminución de la contaminación atmosférica, disminución del efecto invernadero y los niveles de ruido.

Tabla 4.9. Resultados Análisis Multicriterio. ML1 Vs Autobús					
Modelo Inicial				Análisis de sensibilidad	
Criterios	Indicadores	Función de Utilidad	Utilidades sociales ponderadas	Indicadores	Utilidades sociales ponderadas
Reducción del tiempo de viaje	-0,00023220	0	0	-0,000232	0
Eficiencia económica	1,725334	0,850083589	8,420981755	0,598259	2,919972136
Incremento del uso del transporte público	0,010568	0,664200972	9,35893769	0,003403	11,9875106
Disminución de la contaminación atmosférica (DCA)	0,947569	1	11,44321093	0,947569	11,44321093
Disminución del efecto invernadero	0,964419	1	11,44321093	0,964419	11,44321093
Niveles de ruido	4,6852026	1	11,44321093	4,6852026	11,44321093
Mejora de la seguridad vial	-0,25	0	0	-0,25	0
Utilidad total			52,10955224	Utilidad total	49,2371155

Fuente: Elaboración propia.

4.5.2. Metro Ligero Colonia Jardín-Pozuelo de Alarcón y Boadilla del Monte (Línea ML2 y ML3)

a) Metro Ligero Vs Vehículo Privado

Los resultados de la aplicación del análisis multicriterio de las líneas de metro ligero ML2 y ML3 frente vehículo privado, se presentan a continuación, reflejando el valor de la utilidad total tanto para el modelo inicial como una vez realizado el análisis de sensibilidad. En el modelo

inicial la utilidad total es de 53,52. El valor de la utilidad total, en el marco del análisis de sensibilidad realizado, la utilidad total ha sido inferior que en el modelo inicial, en concreto, de 51,51.

Tabla 4.10. Resultados Análisis Multicriterio. ML2 y ML3 versus Vehículo Privado					
Modelo Inicial				Análisis de sensibilidad	
Criterios	Indicadores	Función de Utilidad	Utilidades sociales ponderadas	Indicadores	Utilidades sociales ponderadas
Reducción del tiempo de viaje	0,0000685	1	12,80956447	0,0000696	12,80956447
Eficiencia económica	0,589406	0,290404303	2,876763375	0,177194	0,864844147
Incremento del uso del transporte público	0,002244	1	14,09052092	0,000617	14,09052092
Disminución de la contaminación atmosférica (DCA)	0,974857	1	11,44321093	0,974857	11,44321093
Disminución del efecto invernadero	0,994465	1	11,44321093	0,994465	11,44321093
Niveles de ruido	0,304325	0,075397404	0,862788398	0,304325	0,862788398
Mejora de la seguridad vial	-0,018513	0	0	-0,018513	0
Utilidad total			53,52605903	Utilidad total	51,5141398

Fuente: Elaboración propia.

Respecto al valor de los indicadores en el modelo inicial, el único que ha resultado ser negativo ha sido la mejora de la seguridad vial, los demás han obtenido valores superiores a cero. Los indicadores que han aportado en la utilidad total han sido la reducción del tiempo de viaje, la eficiencia económica, incremento del uso del transporte público, disminución de la contaminación atmosférica, disminución del efecto invernadero y los niveles de ruido. El menor valor positivo ha sido la reducción del tiempo de viaje y el mayor valor es el correspondiente a la disminución del efecto invernadero.

b) Metro Ligero Vs Autobús

En cuanto a las líneas de metro ligero ML2 y ML3 frente autobús, los datos finales derivados de la aplicación del análisis multicriterio se presentan en la siguiente tabla, en la que se muestran tanto el valor de la utilidad total tanto para el modelo inicial como una vez realizado el análisis de sensibilidad.

La utilidad total en el modelo inicial es superior que el supuesto de comparar el metro ligero con el vehículo privado.

En concreto, la utilidad total es 65,387 en lugar de 53,52. Asimismo, en cuanto al análisis de sensibilidad realizado en este caso, y como sucede en el resto de situaciones estudiadas, el valor de la utilidad total es menor que en el modelo inicial, en particular, 63,37.

La demanda en 2013 es mayor que 2007 por lo que la utilidad total en el modelo inicial alcanza un valor superior que una vez aplicada la disminución de la demanda, es decir, el paso del nivel de demanda al año de inicio del funcionamiento de las líneas estudiadas.

Dentro del valor de los indicadores del modelo inicial, el único que no ha superado a cero ha sido la mejora de la seguridad vial, con un resultado de -0,25, en cualquier caso, no ha sido un valor muy negativo.

En el resto de indicadores, la reducción del tiempo de viaje, la eficiencia económica, incremento del uso del transporte público, disminución de la contaminación atmosférica, disminución del efecto invernadero y los niveles de ruido, ha sumado en el valor de la utilidad total, si bien con valores inferiores a la unidad en todos los casos, salvo los niveles de ruido cuyo valor ha sido de 4,68. Las escasas diferencias de los indicadores en el modelo inicial y en el análisis de sensibilidad preveían una variación no muy significativa en el resultado final de la utilidad total.

Tabla 4.11. Resultados Análisis Multicriterio. ML2 y ML3 versus Autobús					
Modelo Inicial				Análisis de sensibilidad	
Criterios	Indicadores	Función de Utilidad	Utilidades sociales ponderadas	Indicadores	Utilidades sociales ponderadas
Reducción del tiempo de viaje	0,000068804	1	14,09052092	0,000069640	14,09052092
Eficiencia económica	0,589406	0,290404303	2,876763375	0,177194	0,864844147
Incremento del uso del transporte público	0,015911	1	14,09052092	0,004442	14,09052092
Disminución de la contaminación atmosférica (DCA)	0,947569	1	11,44321093	0,947569	11,44321093
Disminución del efecto invernadero	0,964419	1	11,44321093	0,964419	11,44321093
Niveles de ruido	4,6852026	1	11,44321093	4,6852026	11,44321093
Mejora de la seguridad vial	-0,25	0	0	-0,25	0
Utilidad total			65,38743801	Utilidad total	63,37551878

Fuente: Elaboración propia.

En definitiva, el autobús en comparación con las líneas ML2 y ML3 da lugar a resultados positivos para la mayoría de los indicadores, lo que se traduce en utilidades sociales ponderadas que contribuyen a sumar a la hora de calcular el valor de la utilidad total en el modelo.

4.5.3. Tranvía de Parla

a) Metro Ligero Vs Vehículo Privado

Respecto a la línea del Tranvía de Parla, los resultados del análisis multicriterio vs. vehículo privado realizado se ofrecen en la siguiente tabla, poniendo de manifiesto el valor de la utilidad total tanto para el modelo inicial como una vez realizado el análisis de sensibilidad.

La utilidad total del modelo inicial es superior a la obtenida aplicando el nivel de demanda de 2007, que es inferior que en el modelo inicial, si bien en este caso con una escasa diferencia, 57.78 (modelo inicial) y 57.13 (con análisis de sensibilidad).

La demanda en 2013 es superior que en 2007 con lo que la utilidad total en el modelo inicial es mayor que una vez realizado el análisis de sensibilidad, es decir, para un nivel de demanda menor, en concreto, el correspondiente al año de puesta en funcionamiento de la línea del Tranvía de Parla.

En el marco del valor de los indicadores del modelo inicial, tan sólo la mejora de la seguridad vial no ha superado a cero con un resultado de -0,04236, en cualquier caso, no ha sido un valor muy negativo. Por lo que respecta al resto de indicadores, la reducción del tiempo de viaje, la eficiencia económica, incremento del uso del transporte público, disminución de la contaminación atmosférica, disminución del efecto invernadero y los niveles de ruido, han contribuido en el valor de la utilidad total, si bien el de eficiencia económica ha arrojado un valor superior para la línea del tranvía de Parla que para el resto de líneas analizadas.

Tabla 4.12. Resultados Análisis Multicriterio. Tranvía Parla versus Vehículo Privado

Modelo Inicial				Análisis de sensibilidad	
Criterios	Indicadores	Función de Utilidad	Utilidades sociales ponderadas	Indicadores	Utilidades sociales ponderadas
Reducción del tiempo de viaje	0,0000684	0,99857	12,79129365	0,0000695	12,79129365
Eficiencia económica	2,029605	1	9,906063194	0,640587	9,906063194
Incremento del uso del transporte público	0,001448	0,724	10,20116	0,000418	9,548889339
Disminución de la contaminación atmosférica (DCA)	0,974857	1	11,44321093	0,974857	11,44321093
Disminución del efecto invernadero	0,994465	1	11,44321093	0,994465	11,44321093
Niveles de ruido	0,704916	0,174644	1,99849662	0,704916	1,99849662
Mejora de la seguridad vial	-0,042360	0	0	-0,042360	0
Utilidad total			57,7834353	Utilidad total	57,13116466

Fuente: Elaboración propia.

La contribución de la reducción del tiempo de viaje ha sido muy escasa con un valor muy cercano a cero. Ligeramente superior ha sido el incremento del transporte público pero también con valor muy reducido en el modelo inicial (0,001448).

Con resultados algo mayores pero sin llegar a la unidad se encuentran los niveles de ruido con un 0,7, y superiores la disminución de la contaminación atmosférica y la disminución del efecto invernadero. En el modelo, inicial el resultado mayor con un valor algo superior a 2 ha sido el indicador de eficiencia económica.

b) Metro Ligero Vs Autobús

Por último, respecto a la línea del Tranvía de Parla, los resultados derivados de la aplicación del análisis multicriterio respecto al autobús se presentan seguidamente, de forma que se comparan los valores de la utilidad total tanto para el modelo inicial como el obtenido tras la elaboración del análisis de sensibilidad.

En el modelo inicial el valor de la utilidad total también es positivo 67,96 y ligeramente superior que el obtenido tras la realización del análisis de sensibilidad variando la demanda a los niveles del año 2007, cuyo valor ha sido de 67,85.

La demanda en 2007 es inferior que en 2013, con lo que la utilidad total en el modelo inicial es mayor que una vez aplicada la disminución de la demanda, es decir, el paso del nivel de demanda al año de inauguración de la línea del Tranvía de Parla. Por lo que al valor de los indicadores del modelo inicial respecta, únicamente el indicador de la mejora de la seguridad vial es negativo con valor igual a -0,25, pero ello ha lugar a una aportación nula en la utilidad total del estudio.

Los otros indicadores, la reducción del tiempo de viaje, la eficiencia económica, incremento del uso del transporte público, disminución de la contaminación atmosférica, disminución del efecto invernadero y los niveles de ruido, han superado el valor de cero, y en particular en el modelo inicial, el indicador de niveles de ruido ha sido el que ha conseguido un valor mayor, seguido del de eficiencia económica, disminución de efecto invernadero, disminución de la contaminación atmosférica, incremento del uso de transporte público y reducción del tiempo de viaje.

Tabla 4.13. Resultados Análisis Multicriterio. Tranvía Parla versus Autobús

Modelo Inicial				Análisis de sensibilidad	
Criterios	Indicadores	Función de Utilidad	Utilidades sociales ponderadas	Indicadores	Utilidades sociales ponderadas
Reducción del tiempo de viaje	0,000068724	0,998830679	14,07404458	0,0000695	14,07404458
Eficiencia económica	2,029605	1	9,906063194	0,640587	9,906063194
Incremento del uso del transporte público	0,010271	0,68473	9,65474	0,003010	9,548889339
Disminución de la contaminación atmosférica (DCA)	0,947569	1	11,44321093	0,947569	11,44321093
Disminución del efecto invernadero	0,964419	1	11,44321093	0,964419	11,44321093
Niveles de ruido	4,6852026	1	11,44321093	4,6852026	11,44321093
Mejora de la seguridad vial	-0,25	0	0	-0,25	0
Utilidad total			67,96448056	Utilidad total	67,85862991

Fuente: Elaboración propia.

Por último, indicar que los valores de la utilidad total obtenidos en el Tranvía de Parla comparado con el autobús son mayores que en el caso del vehículo privado.

4.6.Conclusiones

El análisis multicriterio (AMC) concreta unos criterios para evaluar el grado de cumplimiento de los objetivos previamente fijados. Los criterios son el conjunto de elementos predominantes para alcanzar los objetivos pretendidos con un proyecto concreto. En consecuencia, los objetivos se han medido a través de dicho conjunto de *criterios*, cuyos valores vienen dados por una serie de *indicadores*.

Posteriormente, se han normalizado los indicadores obteniéndose una función de utilidad para cada criterio, con el fin de estandarizar el valor de los indicadores. Se han calculado las funciones de utilidad, de manera que se ha dividido cada indicador entre el máximo de los valores del indicador de cada una de las líneas de metro ligero. Por cada indicador hay una función de utilidad.

Seguidamente, se ponderan los criterios, asignándose un peso concreto a cada criterio. Con las funciones de utilidad y la asignación de pesos a los criterios se obtienen las utilidades sociales ponderadas por criterio, cuya agregación da lugar a la utilidad total que reporta el objetivo o proyecto que se pretende conseguir.

Entre las ventajas de este método se encuentran la simplificación y utilidad, y es un método racional que permite la evaluación simultánea del logro de los objetivos.

De esta forma, tomando como base diversos criterios, los decisores pueden integrar, en un contexto prospectivo o retrospectivo, la diversidad de las opiniones relativas a los proyectos para emitir un juicio. Este método implica la participación de los distintos actores (decisores, técnicos, beneficiarios, etc.) y conduce a la obtención de consejos operativos y recomendaciones. Su objetivo es alcanzar una solución mediante la simplificación del problema, respetando en todo momento las preferencias de los actores.

Con el empleo de esta metodología se ha intentado reforzar la idea de la utilidad de los métodos de comprensión y resolución de problemas de decisión para emitir un juicio comparativo entre proyectos o medidas heterogéneas, por lo que es idónea en la evaluación de proyectos.

Asimismo, se ha realizado una aplicación práctica del análisis multicriterio (AMC), como instrumento alternativo al análisis coste beneficio para los metros ligeros de la Comunidad de Madrid (ML1 (Pinar de Chamartín-Sanchinarro-Las Tablas), ML2 y ML3 (Colonia Jardín-Pozuelo de Alarcón y Boadilla del Monte) y el tranvía de Parla).

Con el AMC se ha pretendido evaluar en qué medida contribuye la construcción de los metros ligeros al bienestar general, en términos de utilidad, mediante la agregación de impactos de distinta índole no sólo económico sino también social y ambiental.

Se han analizado las líneas de metro ligero en términos relativos, es decir, por un lado respecto al vehículo privado y, por otro lado, respecto al autobús.

El estudio se ha realizado para el año 2013, por ser el último dato que había en el momento de construir el modelo.

El *objetivo* planteado consiste en determinar si la construcción de las líneas de metro ligero de la Comunidad de Madrid contribuye al bienestar social.

Para ello, en primer lugar, se han definido los *criterios*. Los que se han considerado, han sido los la reducción del tiempo de viaje entendida como el ahorro del tiempo de viaje en términos relativos (minutos), la eficiencia económica calculada como la diferencia relativa entre el cociente de los ingresos tarifarios y los costes de operación, el incremento del uso del transporte público en términos de porcentaje del número de pasajeros que emplean la línea de metro ligero correspondiente respecto al autobús urbano o al transporte privado, la disminución de la contaminación atmosférica medida como la reducción de la emisión de gases contaminantes anuales, la disminución del

efecto invernadero en términos de reducción de la emisión anual de CO₂, los niveles de ruido medido obtenido como el porcentaje de personas más o menos afectadas consecuencia de la implantación de la nueva consecuencia de la implantación de la nueva infraestructura de transporte y, por último, la mejora de la seguridad vial resultado de la reducción anual de los costes de accidentes.

Una vez calculados los indicadores, se ha realizado la normalización de sus valores, dando lugar a la obtención de las *funciones de utilidad*. Las funciones de utilidad de cada criterio son, por tanto, el resultado de la normalización de cada indicador, de manera que estarán comprendidos entre 0 y 1.

Se ha concedido a cada indicador, el valor de la función de utilidad calculado como el cociente entre cada indicador y el máximo de los valores del indicador de cada una de las líneas de metro ligero objeto de estudio. De esta forma, el valor 1 se ha asignado al mayor valor del indicador y 0, si el indicador es negativo o igual a cero. Con ello se han conseguido las utilidades sociales individuales de cada uno de los criterios, es decir, la utilidad que supone cada criterio para aumentar el bienestar social.

Posteriormente, se han *asignado los pesos* a los criterios. En esta fase, se han ponderado los valores normalizados de los criterios (indicadores) con coeficientes calculados previamente.

Con el fin de obtener unos resultados homogéneos y comparables, se ha considerado el peso de cada criterio como la mediana de los pesos medios de los diferentes casos de estudio.

Las funciones de utilidad por los criterios ponderados dan lugar a las *utilidades sociales parciales ponderadas*, con cuya agregación se obtiene el valor de la *utilidad total*.

Por último y de forma complementaria, se ha realizado un análisis de sensibilidad.

En particular, se ha modificado la variable demanda del modelo inicial disminuyéndola a valores de demanda real anual de 2007, año de puesta en funcionamiento de las líneas de metro ligero estudiadas.

En primer lugar señalar que, en todos los casos, las utilidades totales son positivas, ya sea comparando el metro ligero con el vehículo privado, ya sea con el autobús.

En concreto, son mayores en el caso de la comparativa del metro ligero Vs autobús que en el supuesto del metro ligero Vs vehículo privado.

El análisis de sensibilidad muestra que, la menor demanda de 2007 a 2013, da lugar a un ahorro del tiempo mayor, pero una eficiencia económica menor.

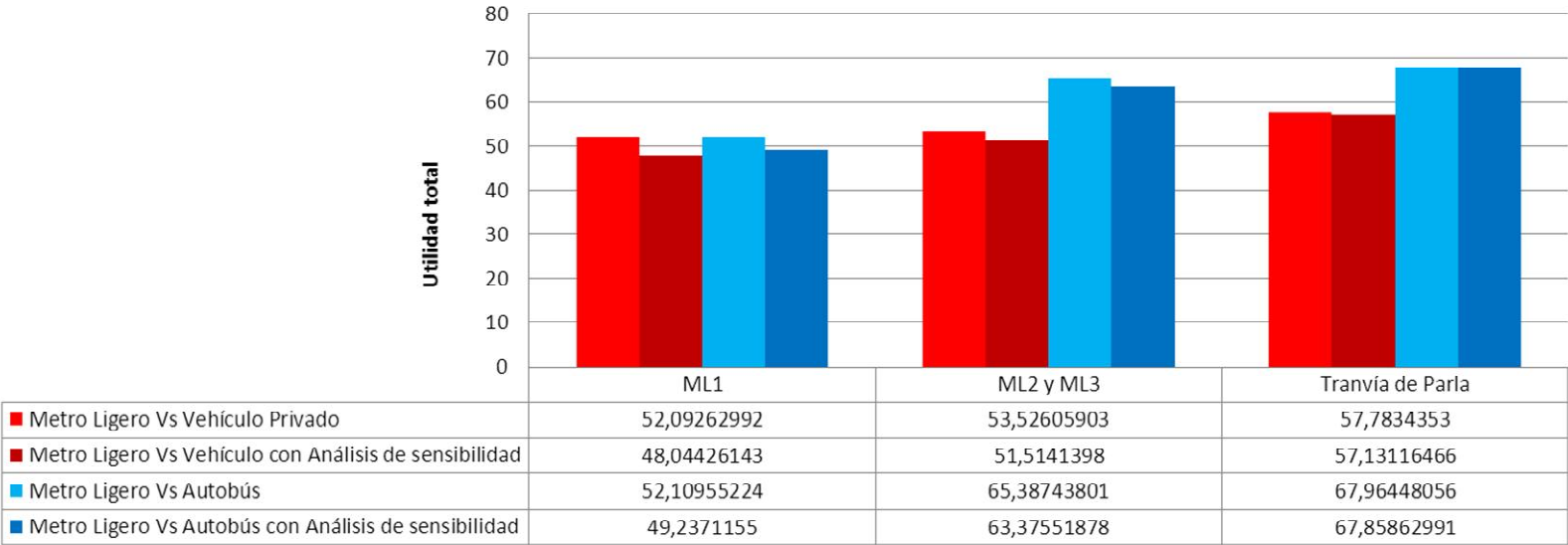
Cuando la demanda real es menor, la utilidad total también lo es.

Por tanto, la aportación de esta tesis en este caso consiste en demostrar que el empleo del análisis multicriterio sirve como instrumento de apoyo al agente encargado de los proyectos analizados.

El estudio se ha realizado una vez construida y puesta en marcha cada línea y ha permitido aislar básicamente elementos sociales y medioambientales, lo que se ha conjugado a su vez con otras dos metodologías en la presente tesis doctoral: el ACB y la simulación Montecarlo, la cual se expone en el capítulo siguiente.

Finalmente, a modo de resumen, se muestran en la siguiente ilustración los resultados obtenidos para cada línea de metro ligero analizada (en los dos supuestos: metro ligero Vs vehículo privado y metro ligero Vs autobús), así como los análisis de sensibilidad realizados para cada caso:

Ilustración 4.1.Utilidad total líneas metro ligero de la Comunidad de Madrid



Fuente: Elaboración propia.

5. METODOLOGÍAS ALTERNATIVAS PARA EL ANÁLISIS DE LA EFICACIA Y DE LA EFICIENCIA EN LAS CONCESIONES DEL TRANSPORTE PÚBLICO URBANO: EL CASO DEL METRO LIGERO (II): SIMULACIÓN MONTECARLO.

5.1.Introducción

La incertidumbre en la evaluación de proyectos es un factor importante a considerar cuando se quiere realizar un análisis de una determinada inversión y, especialmente, en proyectos de transporte en los que el coste suele ser elevado y su vida útil larga.

En ese sentido, el método de simulación Montecarlo permite incluir la variable de incertidumbre en la medida en que simula la realidad a partir de una muestra aleatoria de alternativas. Para ello se deben identificar las variables más significativas y las relaciones entre ellas, de forma que, mediante un universo teórico con distintas opciones aleatorias, se concluye lo que sucedería en situaciones reales.

La simulación de Montecarlo es una técnica que permite llevar a cabo la valoración de los proyectos de inversión considerando que una, o varias, de las variables que se utilizan para la determinación de los flujos netos de caja no son variables ciertas, sino que pueden tomar varios valores. Por tanto, se trata de una técnica que permite introducir el riesgo e incertidumbre en la valoración de los proyectos de inversión.

La aportación de esta tesis con la simulación Montecarlo supone ofrecer una metodología adicional no muy habitual en transporte público urbano a las ya aplicadas en la misma.

El objetivo por tanto es incluir un instrumento complementario cuyos resultados sean satisfactorios a la hora de llevar a cabo una obra de transporte público con el ingente volumen de costes supone y que se sufraga con dinero público, cuestión nada baladí.

En este capítulo se va a exponer la citada metodología desde un punto de vista teórico, se realizará también una revisión de la literatura y finalmente, se presentará una aplicación práctica a las líneas de metro ligero de la Comunidad de Madrid que son la línea ML1 (Pinar de Chamartín-Sanchinarro-Las Tablas), las líneas ML2 y ML3 que se tratarán conjuntamente (Colonia Jardín-Pozuelo de Alarcón y Boadilla del Monte) y la línea del tranvía de Parla. Para ello se han construido dos modelos, el **modelo inicial** con demanda estimada y el **modelo con variante** que tiene en cuenta el efecto de la demanda real.

5.2.Simulación Montecarlo (SM) en las concesiones del transporte público urbano: Metodología

El método de Montecarlo constituye una herramienta de investigación y planificación que emplea una técnica de muestreo artificial, para operar numéricamente sistemas complejos que tengan componentes aleatorios. Permite obtener un valor aleatorio a partir de la distribución de cada variable exógena del modelo considerado.

Mediante este método se realizan diversas simulaciones donde, en cada una de ellas, se generan valores aleatorios para el conjunto de variables de entrada y parámetros del modelo que están sujetos a incertidumbre. Los citados valores aleatorios generados siguen distribuciones de probabilidades específicas que deben ser identificadas o estimadas previamente.

En definitiva, se trata de un método numérico de simulación que permite resolver problemas matemáticos mediante la simulación de variables aleatorias.

A diferencia de los métodos numéricos que se basan en evaluaciones en N puntos en un espacio M-dimensional para producir una solución aproximada, el método de

Montecarlo tiene un error absoluto de la estimación que decrece como $1/(\text{raíz de } N)$, en virtud del teorema del límite central —el cual indica que, en condiciones generales, si S_n es la suma de n variables aleatorias independientes, entonces la función de distribución de S_n se aproxima a una distribución normal. Esto solo ocurre cuando la suma de las variables aleatorias e independientes es lo suficientemente grande.

La simulación Montecarlo ofrece a la persona responsable de tomar las decisiones una serie de posibles resultados, así como la probabilidad de que se produzcan según las medidas tomadas. Muestra las posibilidades extremas —los resultados de tomar la medida más arriesgada y la más conservadora— así como todas las posibles consecuencias de las decisiones intermedias.

Es una herramienta avanzada para conseguir por parte de las Administraciones una mayor seguridad en los proyectos de transporte que vaya a realizar (Capote et al., 2011).

Los pasos a seguir en la simulación Montecarlo se concretan en la realización del análisis de riesgo con la creación de modelos de posibles resultados mediante la sustitución de un rango de valores —una distribución de probabilidad— para cualquier factor con incertidumbre inherente.

Posteriormente, calcula los resultados una y otra vez, cada vez usando un grupo diferente de valores aleatorios de las funciones de probabilidad.

El empleo de las funciones de probabilidad permite describir la incertidumbre en las variables de un análisis de riesgo de forma más realista. Dicho riesgo se mide en términos cuantitativos, asignando valores numéricos a los riesgos, utilizando datos empíricos o mediante la cuantificación de evaluaciones cualitativas.

Como complemento a una simulación Montecarlo, según el número de incertidumbres y de los rangos especificados, puede ser necesario realizar miles o decenas de miles de recálculos. La simulación Montecarlo produce distribuciones de valores de los resultados posibles y contribuye a analizar la disminución del riesgo de demanda (Argote, 2010).

Mediante el uso de distribuciones de probabilidad, las variables pueden generar diferentes probabilidades de que se produzcan distintos resultados. En ese sentido, las distribuciones de probabilidad más comúnmente utilizadas son:

Normal: Se define la media y la desviación estándar para describir la variación con respecto a la media. Los valores intermedios cercanos a la media tienen mayor probabilidad de producirse. Es una distribución simétrica. Se puede emplear la distribución normal en los índices de inflación.

Lognormal: Los valores no son simétricos como en la distribución normal muestran desviaciones. Se utiliza para representar valores superiores a cero, pero tienen un potencial positivo ilimitado. Ejemplos de variables descritas por la distribución lognormal son los valores de las propiedades inmobiliarias o los precios de las acciones en bolsa.

Uniforme: Se trata de aquellos casos en los que los valores tienen la misma probabilidad de producirse. Se define el mínimo y el máximo. Por ejemplo: los ingresos esperados de un determinado bien.

Triangular: Se obtienen los valores mínimo, más probable y máximo. Los valores situados alrededor del valor más probable tienen más probabilidades de producirse. Se utiliza por ejemplo en materia de niveles de inventario o historiales de ventas por unidad de tiempo.

Discreta: Se definen los valores específicos que pueden ocurrir y la probabilidad de cada uno.

PERT: Se determinan los valores mínimos, más probable y máximo, como en la distribución triangular, teniendo probabilidad de producirse los valores situados alrededor del más probable. Se suele emplear el tiempo empleado en una tarea.

En una simulación Montecarlo, los valores se muestrean aleatoriamente a partir de las distribuciones de probabilidad introducidas. A cada grupo de muestras constituye una *iteración*, quedando registrado el resultado correspondiente de esa muestra.

La simulación Montecarlo repite esta operación cientos o miles de veces, y el resultado es una distribución de probabilidad de posibles resultados.

De esta manera, la información que proporciona la simulación Montecarlo sirve de complemento al análisis coste beneficio, ya que indica lo que puede suceder y la probabilidad de que ocurra.

Entre las *propiedades* de la simulación Montecarlo se pueden destacar:

- 1) Resulta especialmente eficaz en la solución de problemas en los que se necesita conocer los resultados con una probabilidad alrededor del 5 al 10% (intervalo de confianza 95%, 97,5%). La exactitud de los resultados se puede mejorar con técnicas de reducción de varianza, sin tener que aumentar el número de pruebas (N).
- 2) El error del valor obtenido es proporcional a la magnitud σ^2 / N siendo σ^2 la varianza (constante) y N el número de pruebas.
- 3) Un mismo problema puede ser resuelto utilizando la simulación de distintas variables aleatorias.
- 4) Empleo de un algoritmo de sencilla estructura. Se elabora primero un programa para la realización de una prueba aleatoria y ésta se repite N veces de modo que cada experimento sea independiente de los restantes.

Finalmente, se toma la media de todos los resultados de tales experimentos.

En cuanto a la *aplicación* de la simulación Montecarlo, las situaciones en las que se puede emplear son diversas:

- Problemas aleatorios diversos, con independencia de que estén o no orientados a eventos.

Se resuelven creando un modelo probabilístico artificial, que cumpla con las leyes de probabilidad que se dan en el sistema real. Ejemplos: el estudio de la demanda de energía eléctrica en un cierto período o la demanda de viajeros de un determinado medio de transporte, que dependen de factores puramente aleatorios.

- Incluso se puede aplicar también a problemas matemáticos determinísticos.

Cuando los problemas determinísticos son imposibles de resolver analíticamente o muy complicados se puede llegar a una solución aproximada mediante el uso de un modelo artificial cuyas funciones de distribución y densidad satisfagan las relaciones funcionales del problema determinístico. Ejemplos: cálculo de integrales múltiples.

Entre las ventajas que aporta la simulación Montecarlo se pueden indicar los siguientes aspectos: (Ramírez, 2013).

Resultados probabilísticos.

Los resultados muestran no sólo lo que puede suceder, sino la probabilidad de obtener tales resultados, sin perjuicio de que se tratan de estimaciones.

Análisis de sensibilidad.

A diferencia de los métodos deterministas, con la simulación Montecarlo, resulta más fácil determinar qué variables introducidas tienen mayor influencia sobre los resultados finales.

Obtención de gráficos de los diferentes resultados y las posibilidades de que sucedan.

Análisis de escenario.

Con la metodología Montecarlo se pueden ver los valores que toma cada variable cuando se producen ciertos resultados, lo que complementa de forma considerable cualquier análisis.

Correlación de variables de entrada.

En la simulación Montecarlo es posible modelar relaciones interdependientes entre diferentes variables de entrada.

Esto es importante para averiguar con precisión la razón real por la que, cuando algunos factores suben, otros suben o bajan paralelamente.

5.3.Revisión de la literatura

En su origen el método fue llamado así por el principado de Mónaco por ser “la capital del juego de azar”, al tomar una ruleta como un generador simple de números aleatorios.

El nombre y el desarrollo sistemático de los métodos de Montecarlo datan aproximadamente de 1944 con el desarrollo de la computadora electrónica.

El uso real de los métodos de Montecarlo como una herramienta de investigación, viene del trabajo de la bomba atómica durante la Segunda Guerra Mundial.

Este trabajo involucraba la simulación directa de problemas probabilísticos de hidrodinámica concernientes a la difusión de neutrones aleatorios en material de fusión.

En la primera etapa de estas investigaciones, John von Neumann y Stanislaw Ulam continuaron realizando algunos ajustes al método inicial. Sin embargo, el desarrollo sistemático de estas ideas llegó con el trabajo de Harris y Herman Kahn en 1948.

Aproximadamente en el mismo año, Fermi, Metropolis y Ulam obtuvieron estimadores para los valores característicos de la ecuación de Schrödinger para la captura de neutrones a nivel nuclear.

En estudios posteriores (Shannon, 1975) la simulación se configura como el proceso de diseñar y desarrollar un modelo computarizado de un sistema o proceso y conducir experimentos con este modelo, a fin de entender el comportamiento del sistema o evaluar varias estrategias con las cuales se puede operar el sistema.

Así, el conjunto de resultados, producidos a lo largo de todas las simulaciones, podrán ser analizados estadísticamente y proveer resultados en términos de probabilidad.

Esas informaciones serán útiles en la evaluación de la dispersión total de las apreciaciones del modelo, causado por el efecto combinado de las incertidumbres de los datos de entrada y la evaluación de las probabilidades de ser violados los padrones de las proyecciones financieras.

Desde la perspectiva de las ciencias económicas, el método de la simulación por Montecarlo se ha utilizado bastante en el campo de evaluación económica en materia de salud, por ejemplo, de medicamentos (Briggs et al., 2002).

A pesar de que, en materia de transporte público urbano la aplicación del método Montecarlo ha sido menos numerosa que el análisis coste beneficio y el análisis multicriterio, su utilidad no ha sido menor.

En la tabla que se expone a continuación podemos señalar algunos artículos en este campo:

Tabla 5.1. Revisión de la literatura de la Simulación Montecarlo (SM) en materia de transporte

Autor	Objetivo del Trabajo y metodología	Resultados y aportaciones
Hallowell, S. F. y Harker, P. T. (1998).	SM para examinar la generación de horarios de los trenes.	El estudio realiza como aportación la posibilidad de ajustar los horarios del mundo real para mejorar el rendimiento a tiempo y reducir los retrasos
Martínez Álvaro, O. (2002).	SM para analizar la rentabilidad de las carreteras de peaje con datos en España para extraer conclusiones a nivel general.	La iniciativa privada es más eficiente que la pública al poder orientar su actuación con los mecanismos de mercado. La aportación de este estudio se orienta en la búsqueda de eficiencia para la construcción de carretera.
Lara Galera, A. L. y Sánchez Soliño, A. (2002)	SM para analizar la viabilidad de las inversiones en infraestructuras de transporte por carretera, útil tanto para el sector privado, como para las diferentes Administraciones en España.	Los tráficos de las autopistas de la Red General de Autopistas del Estado presentan una volatilidad media representativa de un 7,5%, aunque en algunos casos puede ser más elevada. Este estudio realiza una aportación de cara a la aplicación del SM sobre la viabilidad de las inversiones.
Hidalgo, D.(2005).	SM para la realización de una comparativa de alternativas de transporte público masivo en Colombia.	La evaluación indicativa de alternativas de transporte masivo demuestra que sólo es conveniente introducir tecnología ferroviaria (Metro) cuando la demanda de viajes es mayor a 40,000 pasajeros/hora por sentido. La aportación de este estudio estriba en racionalizar mediante la aplicación del SM la utilización de la tecnología ferroviaria.
Argote Cabañero, J. (2010)	SM para el análisis de la disminución del riesgo de demanda que comporta considerar un pool de infraestructuras y de los condicionantes legislativos que existen para su aplicación.	Se obtiene una cuantificación del beneficio obtenido al aplicar la centralización de los flujos de caja y la titulización de activos en distintos niveles de riesgo para hacerlos atractivos a distintos tipos de inversores. Este trabajo realiza una aportación en materia de la influencia de la normativa en el diseño de proyectos de transporte.

Capote y VV.AA (2011)	SM para la verificación de la seguridad en Túneles de carretera.	Entre las aportaciones de este estudio se encuentran el empleo de herramientas avanzadas para conseguir por parte de las Administraciones una mayor seguridad en los túneles de carretera.
Salvador, B. R. P., & Barrera, P. S. (2013)	SM en el comportamiento de las líneas 1, 2 y 3 del Metro de México, tomando en cuenta el movimiento de trenes y pasajeros y la interacción entre líneas a través de las estaciones de correspondencia.	La satisfacción del cliente depende de que el transporte salga a tiempo y que los retrasos sean mínimos. Se ha probado que este es un problema naturalmente inestable, que requiere la introducción de parámetros de control para estabilizarlo. Como aportación de este trabajo señalar que el SM permite conjugar la viabilidad de un proyecto de transporte con la satisfacción del usuario final del mismo.
Salling, K. B. y Leleur, S. (2015)	SM para la valoración de costes y demanda en los proyectos de infraestructuras de transportes.	Resaltar la contribución de los resultados ofrecidos por SM mediante intervalos de valores aleatorios frente a valores deterministas.

Fuente: Elaboración propia.

Con carácter general, las conclusiones que se extraen de los trabajos realizados en esta materia son que se ofrece un método que permite considerar el riesgo o la incertidumbre en un proyecto de transporte, aspecto muy importante ya que son proyectos de gran envergadura.

De los estudios consultados se deduce el interés en materia de trenes entendiendo tanto el sistema ferroviario propiamente dicho y el metro en ciudad, lo que puede asemejarse al estudio elaborado en esta tesis doctoral, así por ejemplo, Hallowell y Harker (1998), Hidalgo (2005) o Salvador y Barrera (2013), así como el análisis de autopistas o carreteras, tal es el caso de Martínez Álvaro (2002), Lara y Sánchez (2002) o Capote et al. (2011).

Destacar también la tendencia a infravalorar los costes y sobrestimar la demanda en los proyectos de infraestructura de transporte, como indican Salling y Leleur (2015).

La variable tiempo es un elemento al que se le da bastante importancia en este tipo de estudios, ya que se analizan proyectos públicos de transporte que combinan tanto la viabilidad del mismo como su duración en el tiempo, puesto que en estos casos, son proyectos a largo plazo.

Asimismo en relación con el tiempo, el ajuste de los horarios y evitar retrasos son también factores a los que se les ha dado trascendencia en estos estudios, directa o indirectamente mediante la búsqueda de la satisfacción del usuario.

Adicionalmente, la demanda como sucede en esta tesis doctoral es una variable fundamental a la hora de valorar los resultados.

5.4.Decisiones metodológicas para la aplicación empírica de la metodología del SM a las concesiones de transporte público urbano

En este apartado, se procederá a la aplicación de la simulación Montecarlo en las concesiones de las líneas metro ligero de la Comunidad de Madrid es decir, ML1 (Pinar de Chamartín-Sanchinarro-Las Tablas), ML2 y ML3 conjuntamente (Colonia Jardín-Pozuelo de Alarcón y Boadilla del Monte) y el tranvía de Parla.

El empleo de esta metodología constituye un complemento al análisis coste beneficio realizado anteriormente, utilizando un método no determinístico se podrán ver todos los resultados posibles de las decisiones que tomamos –en base a determinadas probabilidades- y evaluar el impacto del riesgo, lo cual nos permite tomar mejores decisiones en condiciones de incertidumbre.

El procedimiento seguido es análogo al descrito en el apartado de metodología anteriormente expuesto. Las variables de entrada que se ha tomado para la realización

de este estudio práctico son la demanda potencial, entendida como aquella que no tiene en cuenta el ramp-up del **modelo inicial** del ACB y la derivada de la aplicación del efecto de la demanda real disponible del **modelo con variante** construido para el ACB⁵². Se ha considerado que cada valor tiene una función de distribución de probabilidad Normal:

$$X \rightsquigarrow N(\mu, \sigma^2)$$

con media y varianza, respectivamente:

$$\begin{aligned} \mathbf{E}[X] &= \mu \\ \mathbf{Var}[X] &= \sigma^2 \end{aligned}$$

El número de iteraciones considerado ha sido de 10.000. El nivel de confianza es del 95%. Los criterios de decisión sobre los que se ha realizado el pronóstico y, por tanto, extraído los resultados, han sido los analizados en apartados precedentes, a saber: VAN, y TIR.

De ellos, en el apartado siguiente se expondrán en una tabla y gráficamente sus funciones de distribución con los valores que toman los citados criterios de decisión con sus respectivas probabilidades y los percentiles de la distribución.

En el estudio realizado se diferenciará -de manera análoga a como se hizo en el análisis coste beneficio y con el análisis multicriterio- el supuesto comparativo de metro ligero Vs. vehículo privado, del relativo a metro ligero Vs. autobús.

Dentro de cada uno de ellos, se ha elaborado el modelo con la simulación Montecarlo, para tres escenarios distintos 1, 2 y 3, con valores diferentes tasas sociales de preferencia temporal⁵³ (4,8%, 2,2% y 8,4%, respectivamente).

⁵² A mayor abundamiento sobre la demanda real aplicada, vid. apartado 3.5 *ut supra*.

⁵³ Para mayor detalle de tasas sociales de preferencia temporal, vid. Souto, 2001.

Se han obtenido las simulaciones de los dos modelos del ACB, es decir, del modelo inicial con demanda estimada y del modelo con variante que contenía el efecto de demanda real.

En definitiva, con las decisiones anteriores, la aportación de esta tesis al aplicar esta metodología redunda en introducir, partiendo del estudio realizado de análisis coste beneficio en introducir, la variable incertidumbre a la evaluación de las líneas de metro ligero de la Comunidad de Madrid.

5.5. Aplicación empírica de la metodología del SM a las concesiones de transporte público urbano: las líneas de metro ligero en la Comunidad de Madrid

Seguidamente se procederá a la exposición de los resultados de la simulación Montecarlo a los casos analizados de metro ligero en la Comunidad de Madrid: ML1, ML2 y ML3, así como el Tranvía de Parla.

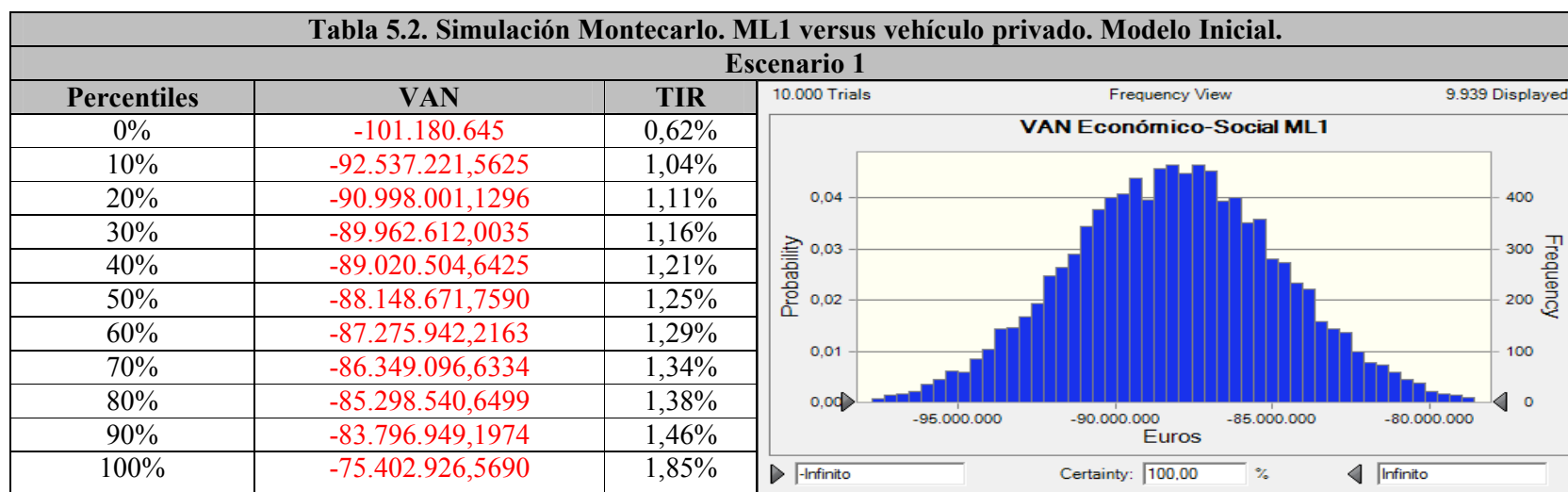
5.5.1. Simulación Montecarlo: Metro Ligero Pinar de Chamartín – Sanchinarro - Las Tablas (ML1)

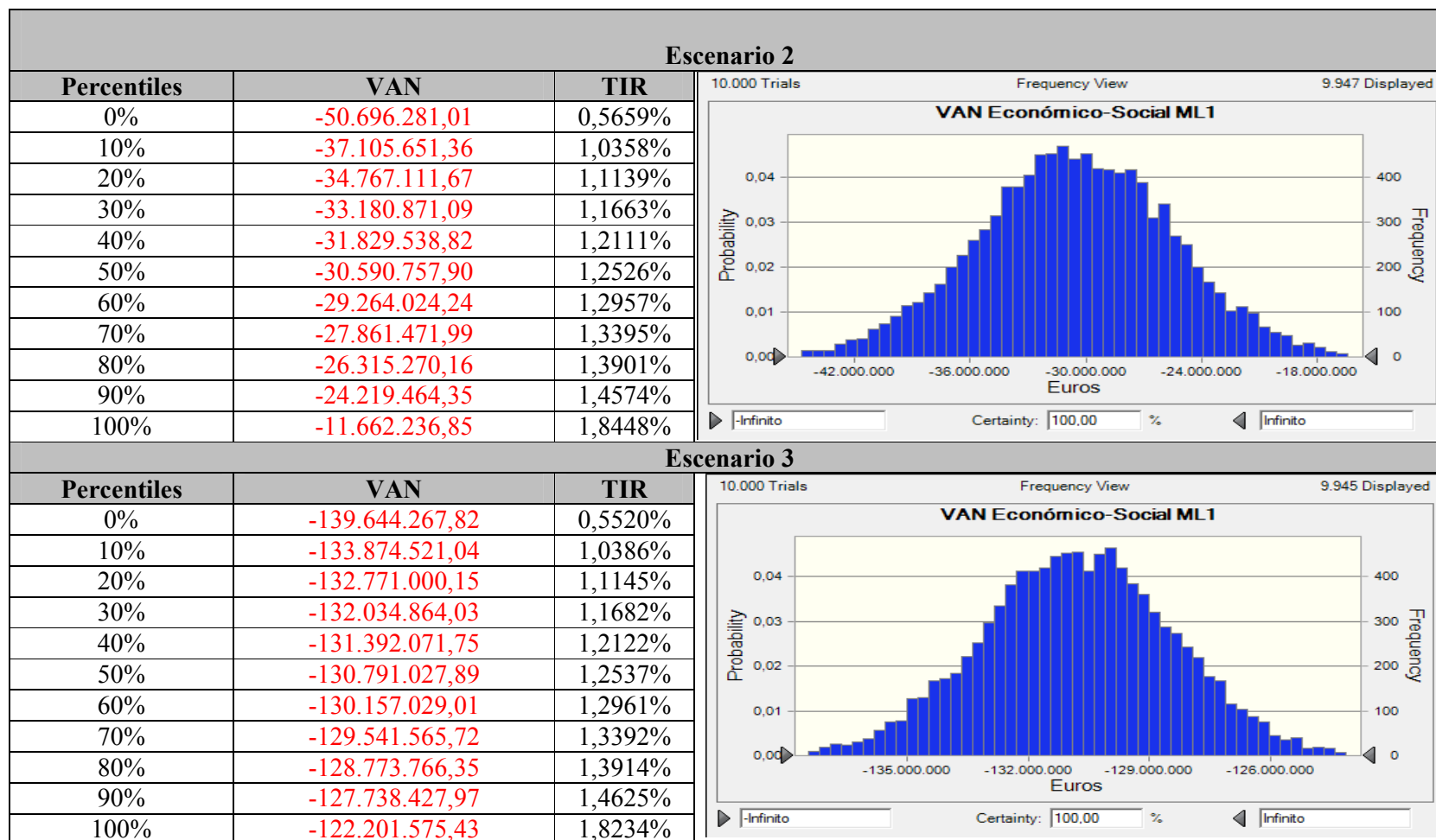
a) Metro Ligero Vs Vehículo Privado

En este caso, en el análisis coste beneficio del modelo inicial el VAN tomaba el valor de -88.104.318. Si observamos la tabla de percentiles, vemos como la probabilidad de que el VAN sea negativo es del 100%, ya que, según la simulación Montecarlo, el valor oscilará entre -75.402.926,5690 y -101.180.645, para el nivel de confianza del 95%. La TIR para el análisis coste beneficio adquiriría un valor 1,25%.

Mediante la simulación Montecarlo, los valores oscilan entre 0,62% y 1,85%, teniendo los supuestos del modelo tratado, por lo que la TIR es sensiblemente inferior a la TSPT. Como en el ACB, el proyecto, bajo las condiciones analizadas, no sería rentable desde una perspectiva económico-social en la simulación Montecarlo. En el Escenario 2 del modelo inicial, el VAN por ACB era de -30.573.347. En la simulación Montecarlo, el VAN es negativo en todos los percentiles. En cuanto al valor de la TIR, muestra la misma tendencia que en el escenario anterior.

Al igual que sucede con los datos obtenidos, en el análisis coste beneficio, tanto para el VAN como para el resto de criterios de decisión, este proyecto no resultaría rentable de un punto de vista económico-social. En el Escenario 3 del modelo inicial, el VAN en ACB alcanzaba un valor de -130.795.890. En este caso, también como en los Escenarios 1 y 2 el VAN es negativo, y sigue el mismo comportamiento.

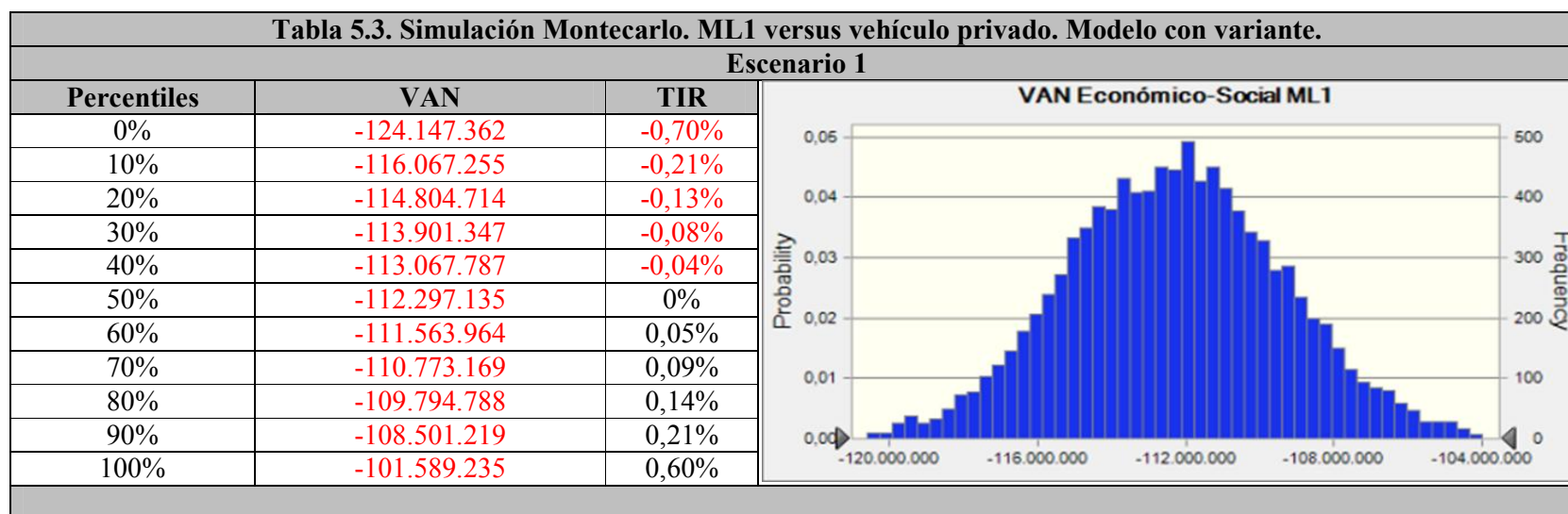


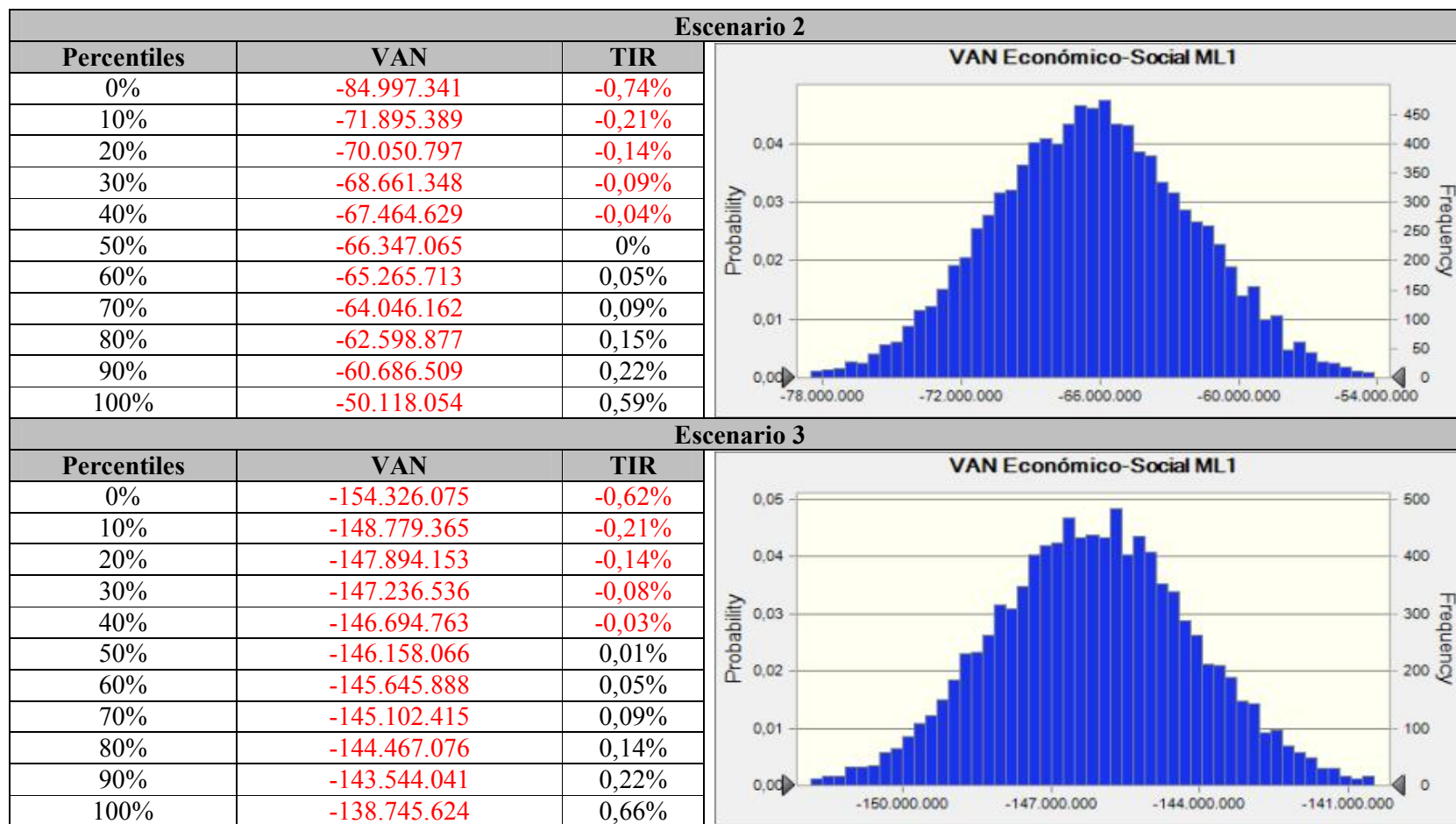


Fuente: Elaboración propia a partir de resultados de la simulación Montecarlo.

Respecto a la simulación Montecarlo de la línea ML1 con respecto al vehículo privado en el modelo con variante, se puede señalar que para cualquiera de los escenarios, el efecto de la demanda real ha dado lugar a intervalos de VAN negativos a TIR negativas hasta el percentil 40%.

Se recuerda también que en el ACB del modelo con variante el valor del VAN para los escenarios 1,2 y 3 eran -112.313.595, -66.309.984 y -146.199.119 euros respectivamente, con lo que se encuentran en los intervalos centrales de la simulación Montecarlo, lo que también sucede también con el valor de la TIR. Los valores en simulación Montecarlo del modelo con variante para este supuesto son aún más desfavorables que en el modelo inicial.





Fuente: Elaboración propia a partir de resultados de la simulación Montecarlo.

b) Metro Ligero Vs Autobús

En el análisis coste beneficio del modelo inicial obtuvimos un VAN igual a -185.442.751 y, lo mismo que sucedía en el estudio de metro ligero Vs. Vehículo privado, la simulación Montecarlo concluye que el proyecto no es viable desde un punto de vista económico-social.

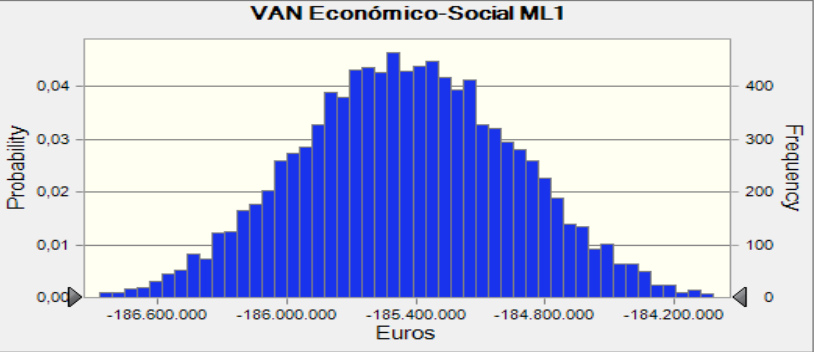
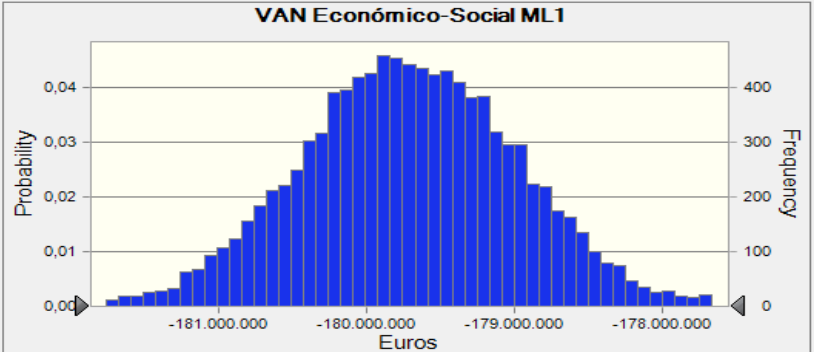
En el Escenario 2 del modelo inicial, en el análisis coste beneficio, el VAN en el caso de la línea ML1 vs. Autobús tomaba un valor igual a -179.708.564. Con la simulación Montecarlo, los valores mínimo y máximo obtenidos son -182.968.395,3629 y -177.124.366,490, respectivamente. Como sucedía en el Escenario anterior, los percentiles muestran valores de TIR negativos.

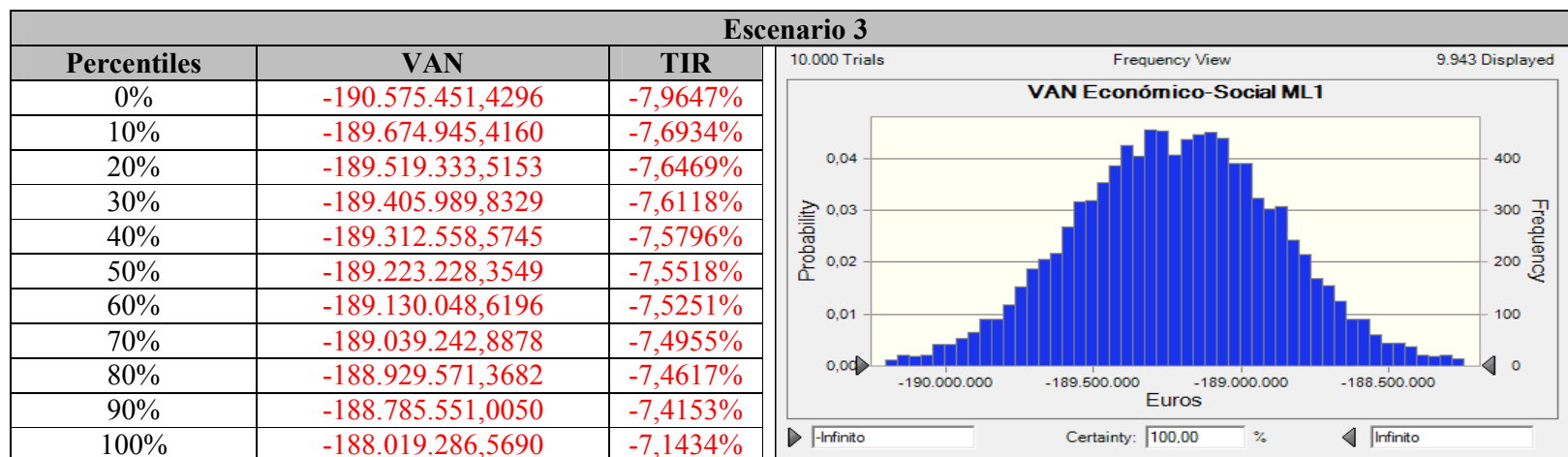
En el Escenario 3 del modelo inicial por ACB el VAN tomaba un valor de -189.224.866, era de los tres escenarios es valor más negativo. En la simulación Montecarlo, en el primer intervalo el VAN tiene un valor de -190.575.451,4296 y en el último de -188.019.286,5690.

De forma análoga a los escenarios precedentes en este supuesto, con la simulación Montecarlo se confirma la conclusión obtenida en el ACB, el proyecto no parece que debiera realizarse desde un punto de vista económico-social. En los tres Escenarios los intervalos de valores de VAN y TIR que marca la simulación Montecarlo incluyen los obtenidos en el ACB, en concreto, en los percentiles centrales.

Derivado de lo señalado anteriormente, la conclusión también es idéntica que en el ACB, en el sentido de que los resultados con la comparación con el autobús son menos satisfactorios que en el caso del vehículo privado.

Tabla 5.4. Simulación Montecarlo. ML1 vs Autobús. Modelo Inicial.

Escenario 1			10.000 Trials Frequency View 9.940 Displayed	
Percentiles	VAN	TIR		
0%	-187.126.218,0627	-7,9855%		
10%	-186.099.410,5824	-7,6945%		
20%	-185.874.860,1226	-7,6455%		
30%	-185.713.676,7746	-7,6092%		
40%	-185.579.691,4926	-7,5808%		
50%	-185.449.636,9368	-7,5528%		
60%	-185.316.905,7983	-7,5245%		
70%	-185.173.491,9130	-7,4954%		
80%	-185.008.089,8511	-7,4614%		
90%	-184.793.223,4294	-7,4152%		
100%	-183.538.629,5237	-7,1517%		
Escenario 2			10.000 Trials Frequency View 9.953 Displayed	
Percentiles	VAN	TIR		
0%	-182.968.395,3629	-7,9917%		
10%	-180.658.025,4970	-7,6931%		
20%	-180.325.797,5690	-7,6458%		
30%	-180.102.332,1502	-7,6100%		
40%	-179.905.653,5885	-7,5811%		
50%	-179.719.614,7708	-7,5544%		
60%	-179.525.582,5520	-7,5273%		
70%	-179.328.319,1649	-7,4987%		
80%	-179.096.890,1576	-7,4642%		
90%	-178.780.520,6063	-7,4186%		
100%	-177.124.366,4900	-7,1466%		

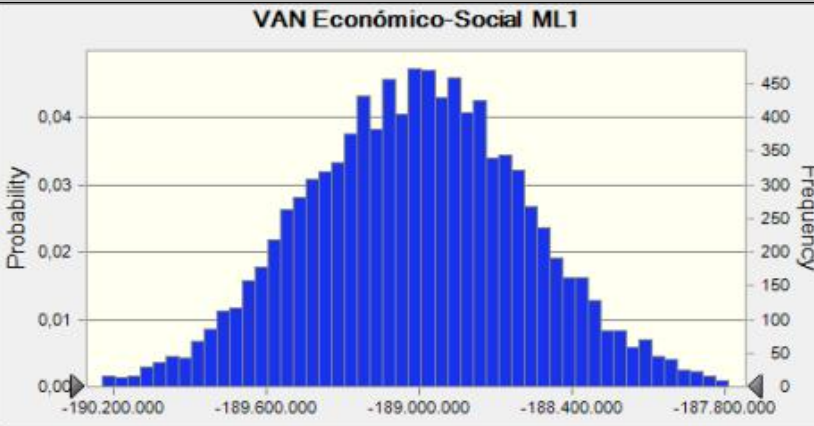
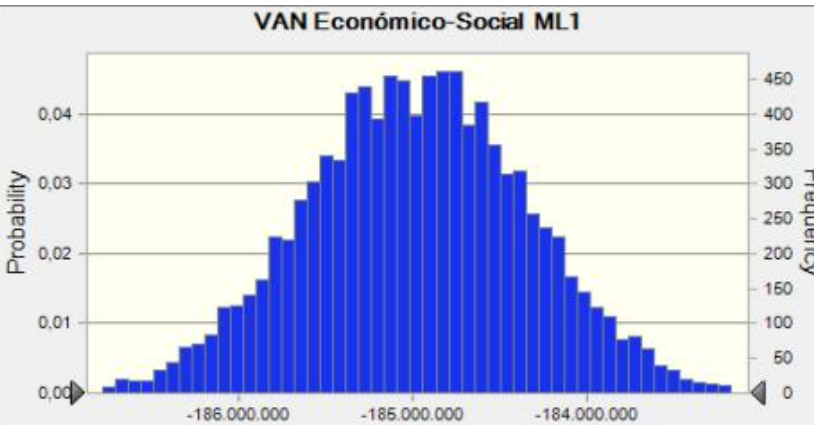


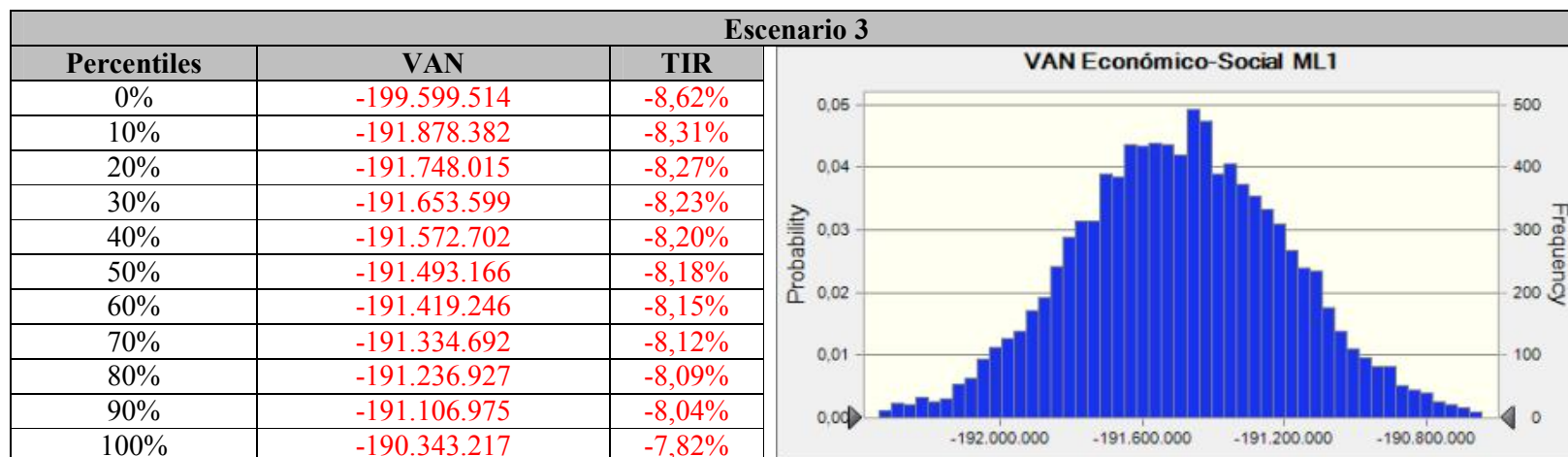
Fuente: Elaboración propia a partir de resultados de la simulación Montecarlo.

En cuanto a los efectos de la demanda real, los datos finales de la simulación Montecarlo eran más optimistas en el modelo inicial. En el análisis por escenarios del modelo con variante, indicar que en el escenario 1, el valor del VAN en el ACB era de -189.013.409 euros, resultado que se encuentra dentro de los resultados obtenidos por simulación Montecarlo.

Lo mismo sucede en los escenarios 2 y 3, en los que el VAN resultante del ACB era respectivamente, -184.979.408 y -191.496.708 euros, situados también dentro de los respectivos intervalos correspondientes a cada escenario de la simulación Montecarlo.

Tabla 5.5. Simulación Montecarlo. ML1 vs Autobús. Modelo con variante.

Escenario 1			
Percentiles	VAN	TIR	
0%	-190.779.092	-8,61%	
10%	-189.576.743	-8,31%	
20%	-189.393.105	-8,26%	
30%	-189.246.041	-8,23%	
40%	-189.124.044	-8,20%	
50%	-189.008.865	-8,18%	
60%	-188.900.697	-8,15%	
70%	-188.784.188	-8,12%	
80%	-188.647.631	-8,09%	
90%	-188.456.773	-8,05%	
100%	-187.428.852	-7,80%	
Escenario 2			
Percentiles	VAN	TIR	
0%	-187.484.006	-8,61%	
10%	-185.794.827	-8,31%	
20%	-185.513.415	-8,26%	
30%	-185.316.608	-8,23%	
40%	-185.139.904	-8,20%	
50%	-184.970.563	-8,17%	
60%	-184.805.698	-8,15%	
70%	-184.632.297	-8,12%	
80%	-184.429.417	-8,09%	
90%	-184.154.334	-8,05%	
100%	-182.524.913	-7,78%	



Fuente: Elaboración propia a partir de resultados de la simulación Montecarlo.

5.5.2. Simulación Montecarlo: Metro Liger Colonía Jardín-Pozuelo de Alarcón y Boadilla del Monte (Línea ML2 y ML3)

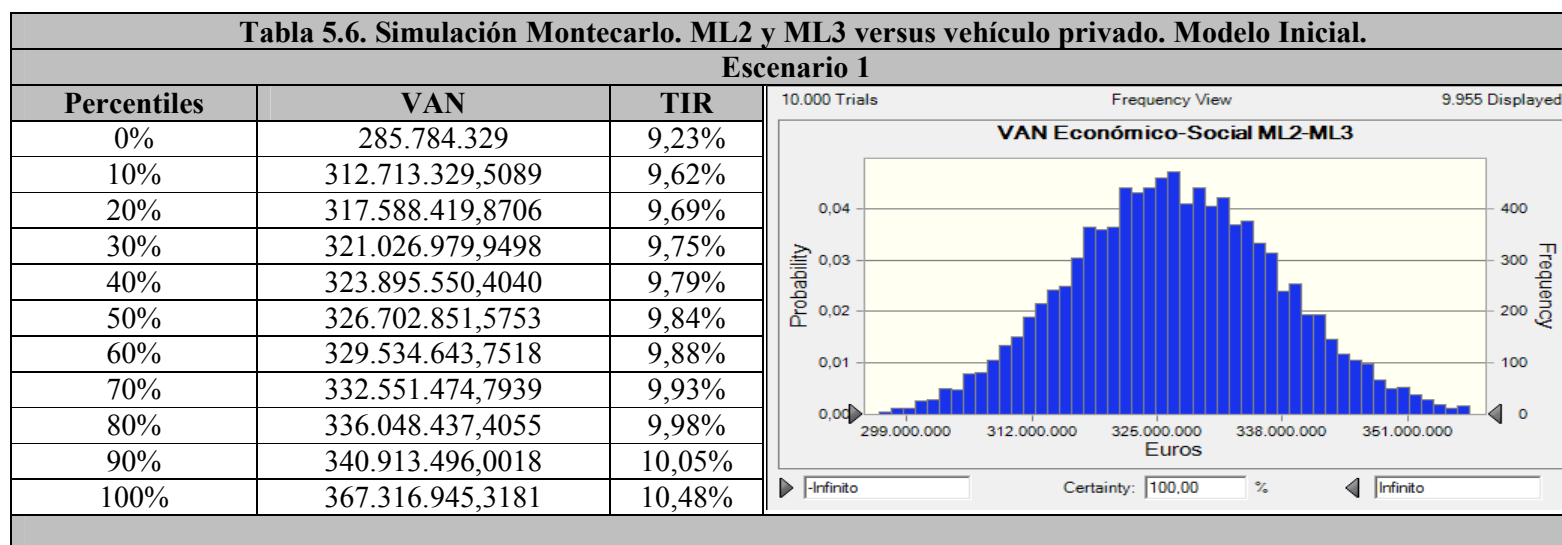
a) Metro Liger Vs Vehículo Privado

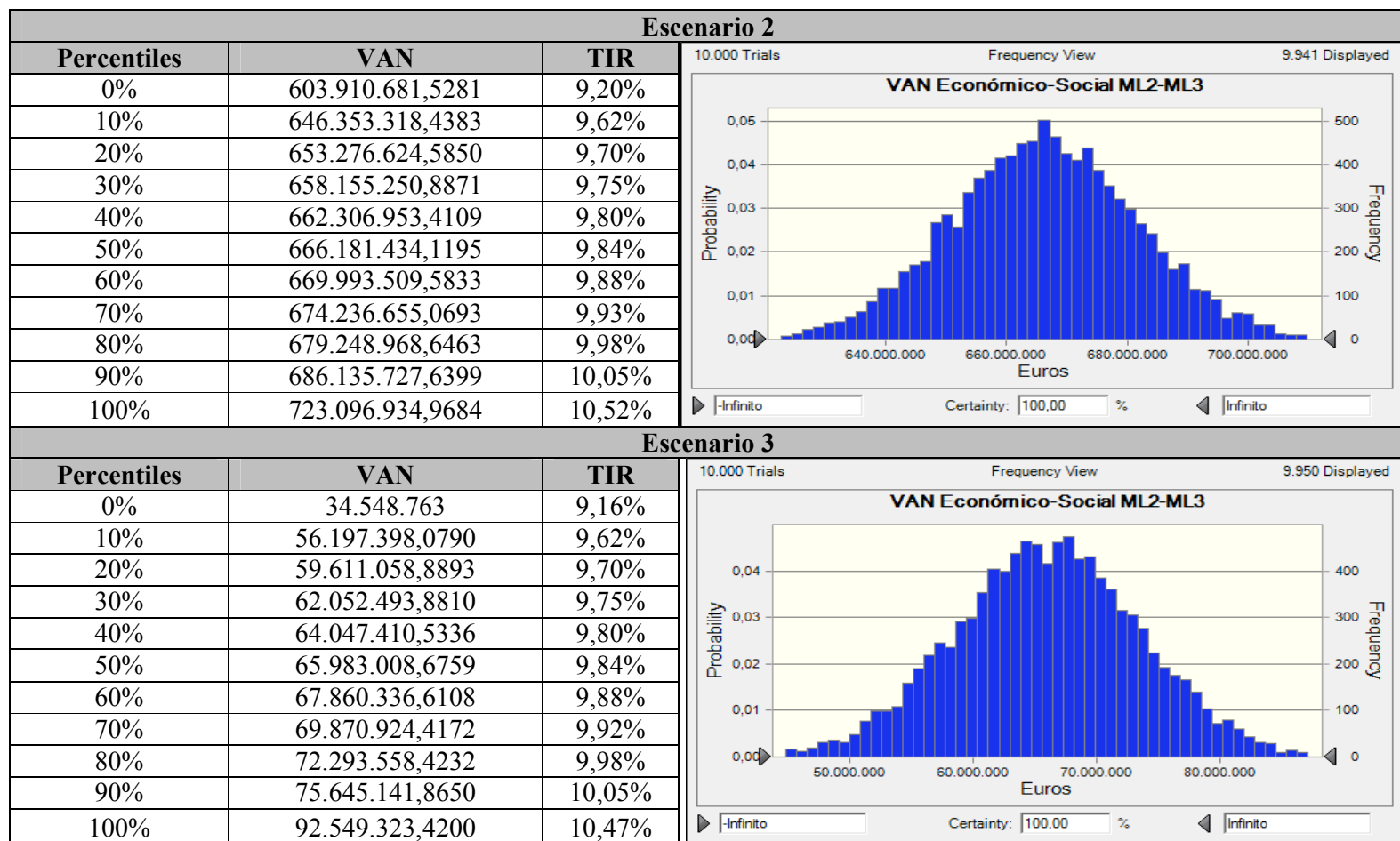
Para el escenario 1, con la simulación Montecarlo y el ACB este proyecto sería viable desde una perspectiva económico-social. El VAN por ACB es de 326.839.051 y la TIR del proyecto 9,84%. Para el Escenario 2, el VAN obtenido en el análisis coste beneficio fue de 666.164.554 euros. En este caso, los percentiles de este criterio de decisión arrojan valores entre 603.910.681,5281 y 723.096.934,9684.

Al ser en todos los casos valores positivos, se refuerza la idea de que en este supuesto, bajo las condiciones analizadas, el proyecto también sería rentable económico socialmente hablando.

En el Escenario 3, el VAN por ACB ha sido igual a 65.969.296, dato que se encuentra entre los valores de percentiles intermedios con respecto a la simulación Montecarlo.

Incluso en este Escenario los percentiles de la TIR son mayores que la TSPT, con lo que siendo el VAN positivo y la TIR (de acuerdo, con los resultados obtenidos en el análisis coste beneficio) 65.969.296 y 9,84%, respectivamente, el proyecto es económico-socialmente viable.

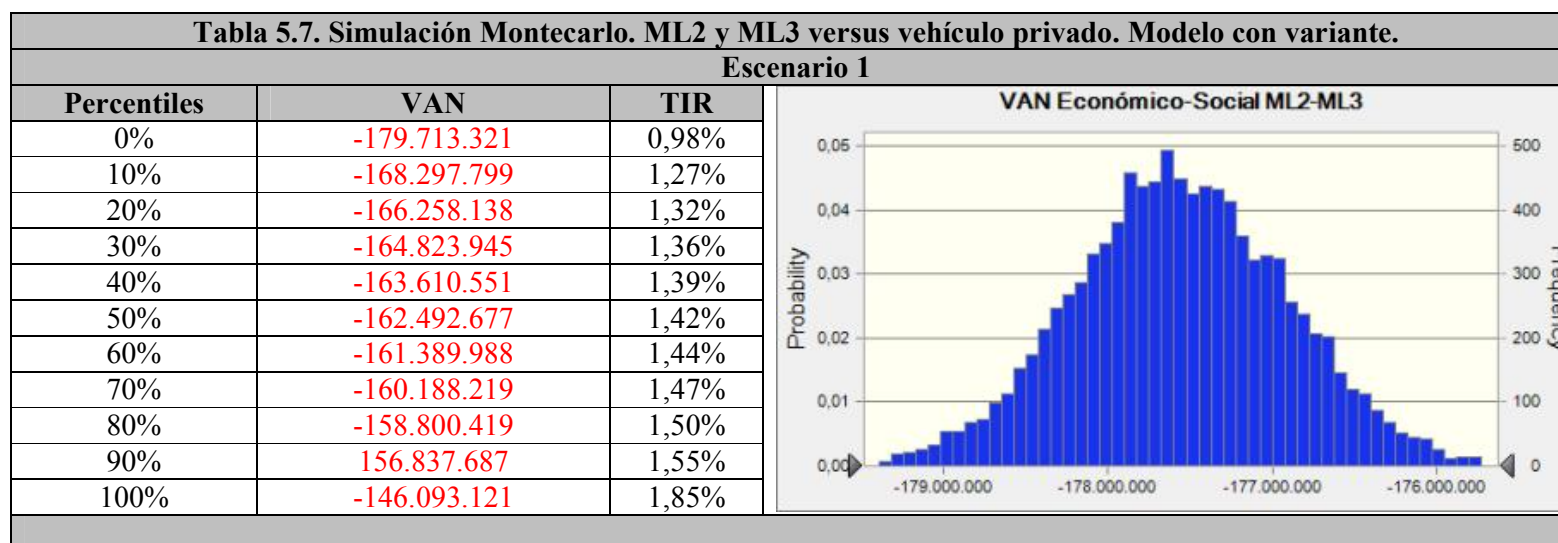


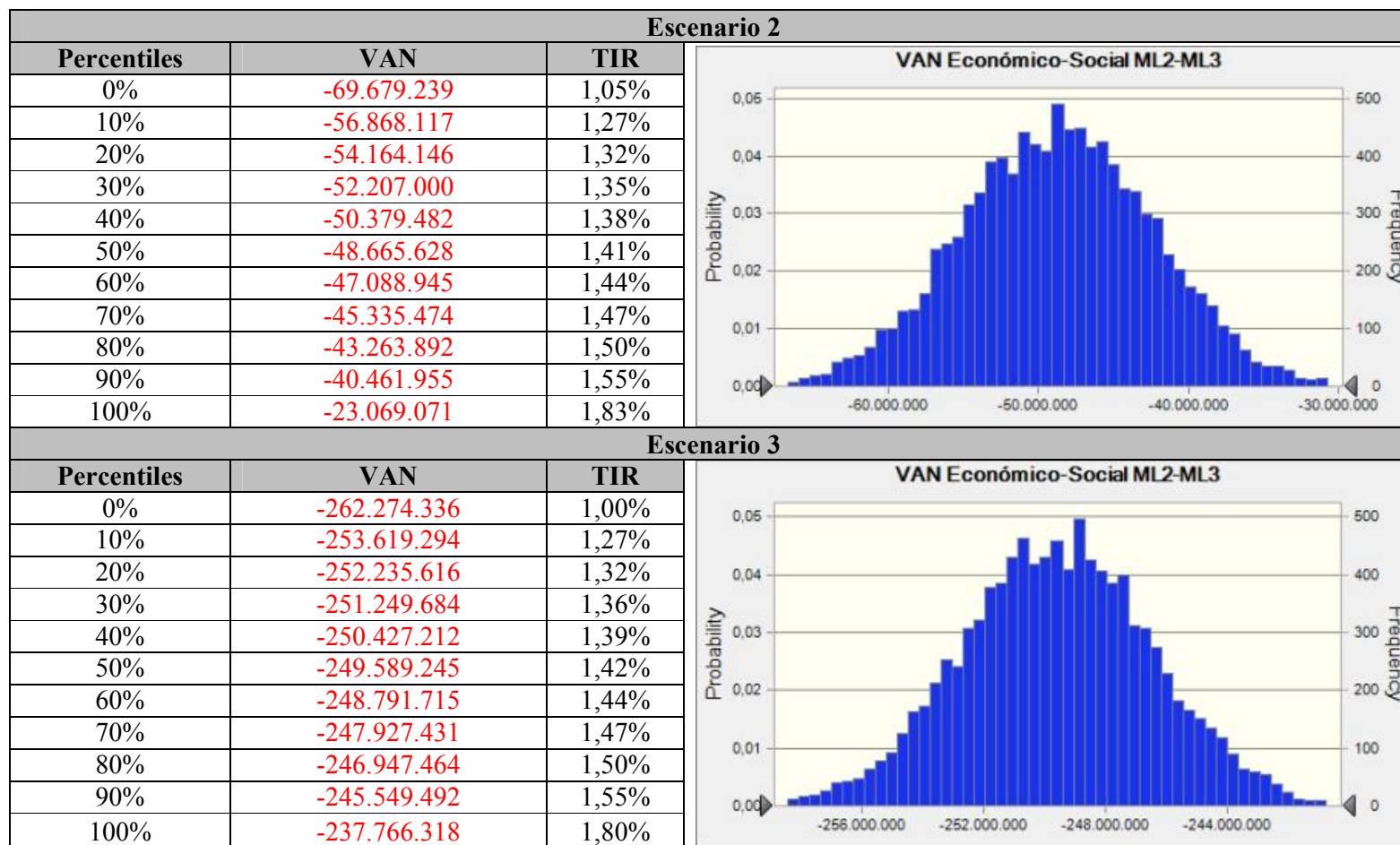


Fuente: Elaboración propia a partir de resultados de la simulación Montecarlo.

En cuanto al modelo con variante, señalar que los resultados finales que arrojaba el ACB para este caso eran en el escenario 1, de -162.540.692 euros, en el escenario 2 de -48.631.236 euros y en el escenario 3 de -249.603.554 euros, con lo que se puede observar que se encuentran dentro de los intervalos que ofrece la simulación Montecarlo cuando comparamos la ML2 y la ML3 con el vehículo privado y se tiene en cuenta el efecto de la demanda real disponible.

De nuevo los VAN de los distintos percentiles y para cada uno de los escenarios muestran datos mejores en el modelo inicial. En particular, en este caso la reducción de la demanda real sobre la estimada ha sido más drástica y ello también se ha reflejado en los resultados tanto de ACB como de simulación Montecarlo.





Fuente: Elaboración propia a partir de resultados de la simulación Montecarlo.

b) Metro Ligero Vs Autobús

A diferencia de la situación con vehículo privado, si lo comparamos con el autobús, los percentiles de la simulación Montecarlo son negativos.

De hecho, recordemos que el VAN (obtenido al aplicar el análisis coste beneficios para el supuesto Metro Vs autobús) también tenía el mismo signo (-106.460.899).

Los percentiles de la TIR y la propia TIR (2,43%) son inferiores a la TSPT aplicada para el Escenario 1 con lo que, parece que observando también el VAN, en este Escenario concreto, el proyecto no tendría una rentabilidad económico social.

En el Escenario 2, el VAN por ACB ha sido igual a 13.362.150 y los valores son más optimistas que en el anterior. Los percentiles del VAN, que ofrece la simulación Montecarlo para el estudio de las líneas ML2 y ML3 con respecto al autobús, son positivos.

La TIR supera (2,43%, en base a los datos obtenidos del análisis coste beneficio), si bien no con gran diferencia, a la TSPT aplicada para este Escenario.

En el Escenario 3 el VAN es negativo (en el análisis coste beneficio realizado se obtuvo un valor de -200.237.358) y los percentiles en la simulación Montecarlo también tiene el mismo signo.

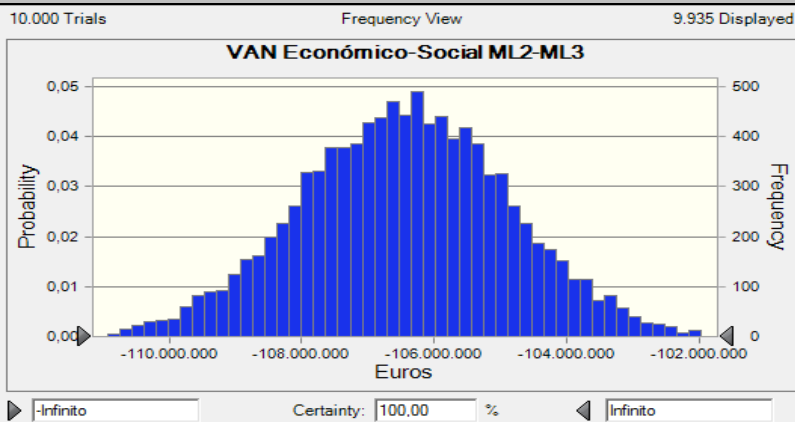
Por tanto, para un nivel de confianza del 95%, la probabilidad de que el VAN sea negativo es del 100%.

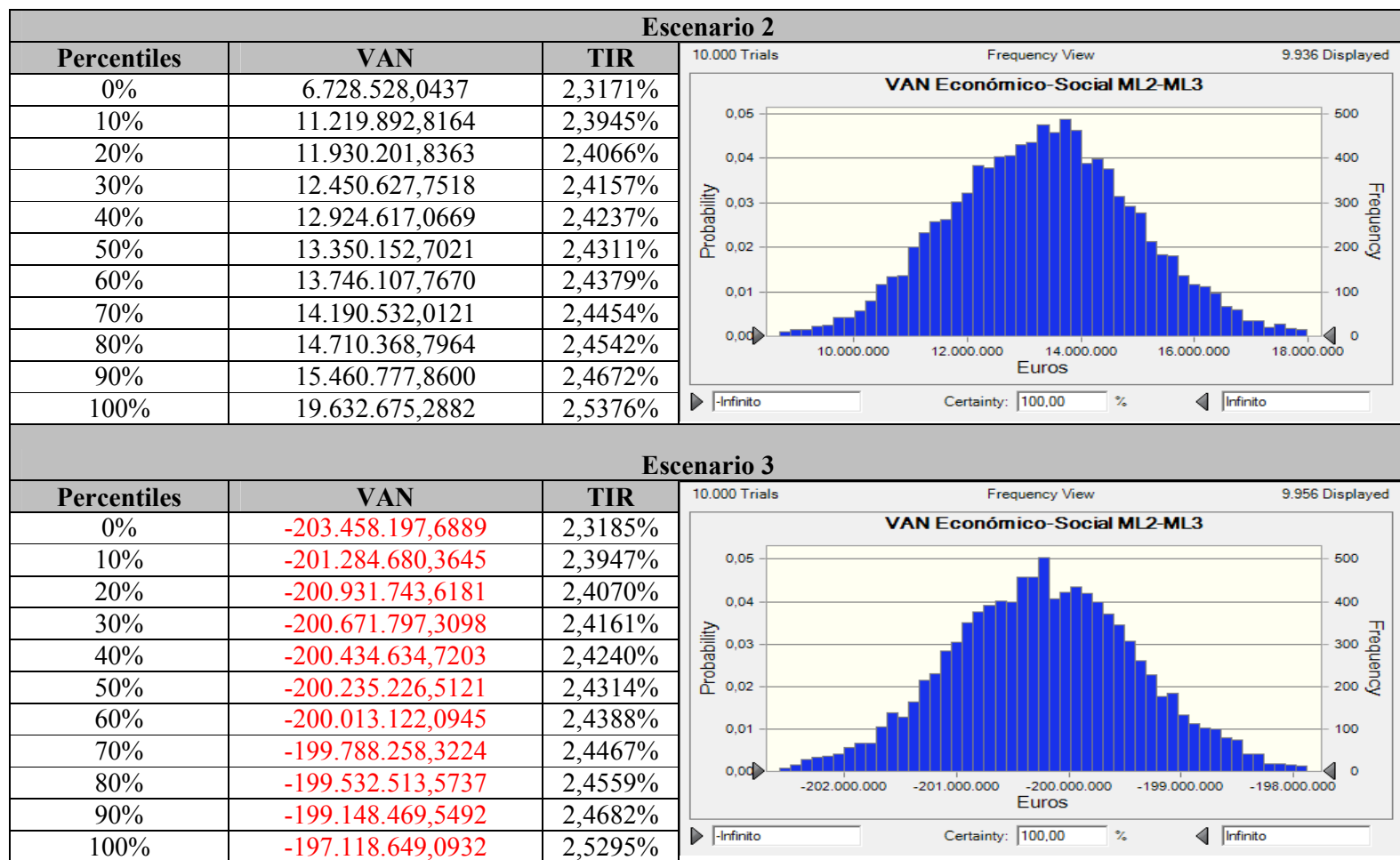
A pesar de que la TIR es positiva (2,43%, tomando el dato del análisis coste beneficio realizado) y sus percentiles oscilan entre 2,3185% y 2,5295%, como ya se ha apuntado, no sucede lo mismo para el VAN.

Tabla 5.8. Simulación Montecarlo. ML2 y ML3 versus Autobús. Modelo Inicial.

Escenario 1

Percentiles	VAN	TIR
0%	-113.063.286,0227	2,2788%
10%	-108.485.626,2999	2,3813%
20%	-107.792.323,9168	2,3988%
30%	-107.286.919,5035	2,4109%
40%	-106.842.522,0825	2,4217%
50%	-106.439.660,1936	2,4315%
60%	-106.036.728,7575	2,4416%
70%	-105.608.695,9165	2,4516%
80%	-105.121.286,6600	2,4637%
90%	-104.417.971,0257	2,4806%
100%	-100.983.696,3100	2,5672%

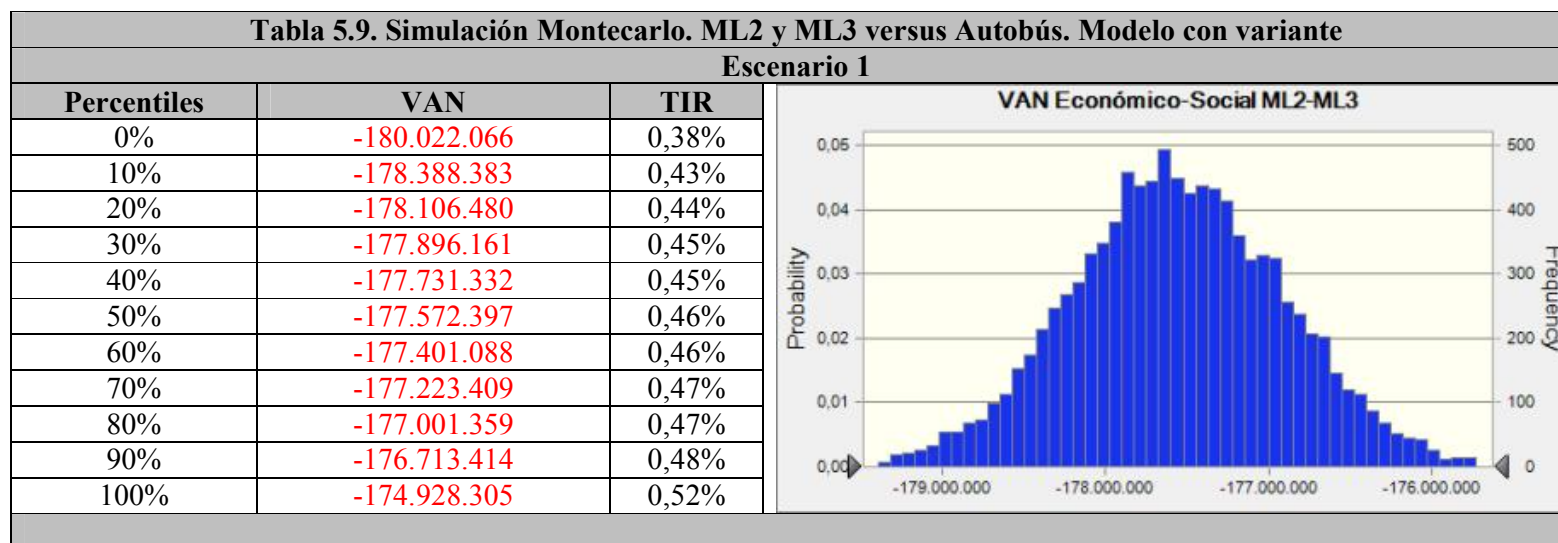


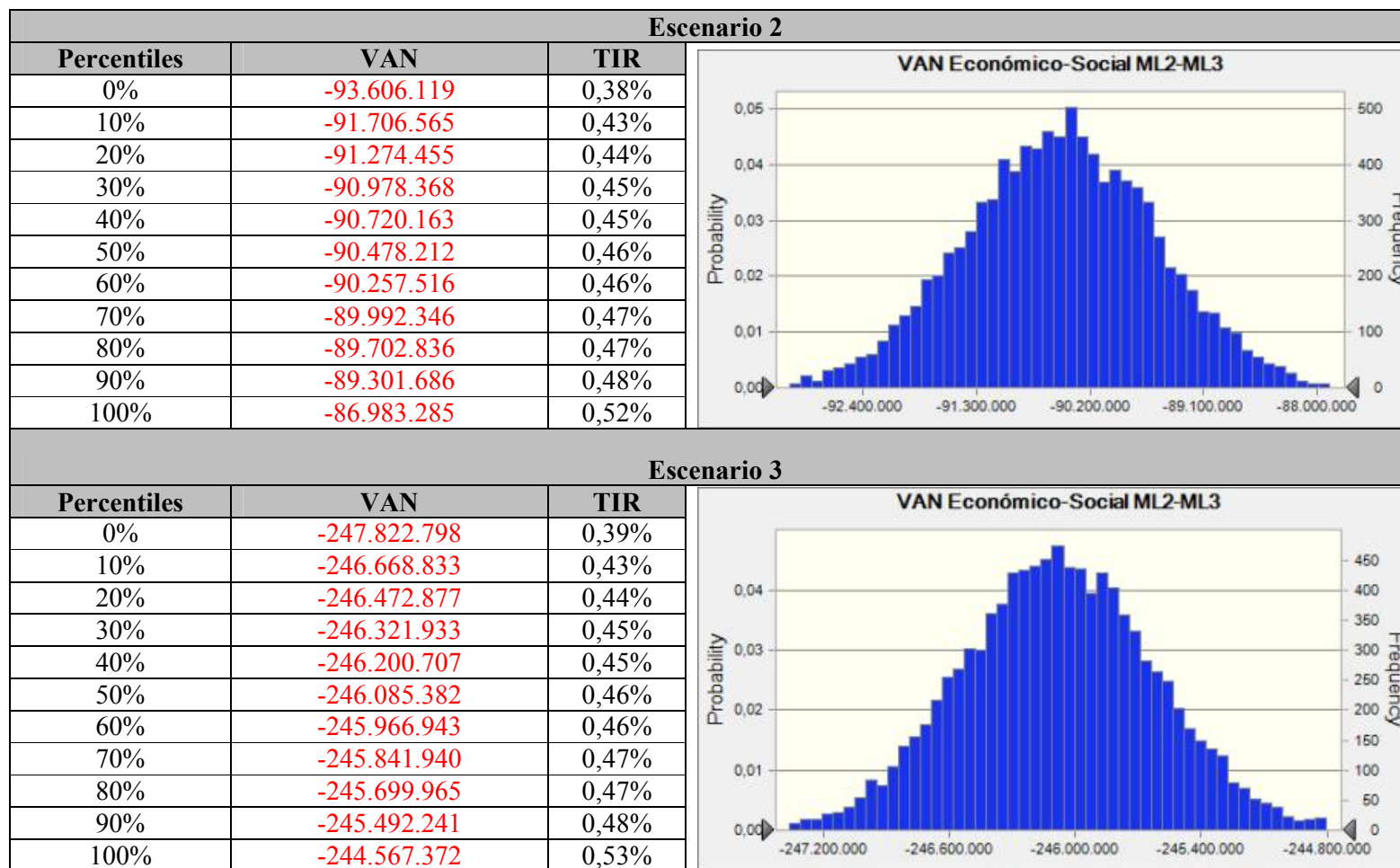


Fuente: Elaboración propia a partir de resultados de la simulación Montecarlo.

En el modelo con variante al comparar la ML2 y la ML3 con el autobús vemos como en el ACB el VAN era igual a -177.559.368 euros en el escenario 1, de -90.485.399 euros en el escenario 2 y de -246.084.671 euros en el escenario 3.

De esta forma, en la simulación Montecarlo en el escenario 1 el VAN ofrece unos resultados que van desde -180.022.066 a -174.928.305, con lo que el resultado obtenido en el ACB para el modelo con variante se encontraría en torno al percentil central, y lo mismo ocurre con los datos de los escenarios 2 y 3. Igual comportamiento sigue la TIR resultante del ACB que se encuentra también en los percentiles centrales.





Fuente: Elaboración propia a partir de resultados de la simulación Montecarlo.

5.5.3. Simulación Montecarlo: Tranvía de Parla

a) Metro Ligero Vs Vehículo Privado

Pasando a analizar el Tranvía de Parla respecto del coche privado, en el Escenario 1, los percentiles del VAN son positivos, según la simulación obtenida mediante Montecarlo, con lo que la probabilidad de que, bajo los supuestos analizados, el VAN sea positivo es del 100%. Asimismo los valores de los percentiles de la TIR van desde 7,56% hasta 8,91%, siendo superiores a la TSPT de este Escenario (4,8%).

En el ACB el VAN alcanzó un valor de 45.193.883 y la TIR de 8,23%. En el escenario 2, la tendencia es la misma, si bien con valores mayores de VAN en el ACB (107.259.702) y de percentiles de la simulación Montecarlo. En definitiva, bajo las condiciones de tales escenarios, el proyecto sería económico-socialmente viable. En el Escenario 3, la simulación Montecarlo la probabilidad de que el VAN sea positivo está en torno al 20%.

Por su parte el VAN, en el análisis coste beneficio, obtuvo un valor de -1.530.114 euros. En cuanto a la TIR, los percentiles calculados de la simulación Montecarlo, indican que con algo más de un 80% de probabilidad, la TIR sería inferior a la TSPT de este escenario y que el VAN sería negativo, como así se ha obtenido con el ACB.

Para todos los escenarios los intervalos de datos de VAN y TIR que origina la simulación Montecarlo abarcan los obtenidos en el ACB, en particular, en los percentiles centrales.

Tabla 5.10. Simulación Montecarlo. Tranvía Parla versus Vehículo Privado. Modelo Inicial.		
Escenario 1		
Percentiles	VAN	TIR
0%	36,064,663.80	7.56%
10%	42,074,281.38	8.01%
20%	43,148,115.67	8.08%
30%	43,933,931.57	8.14%
40%	44,613,850.95	8.19%
50%	45,216,578.80	8.24%
60%	45,842,085.95	8.28%
70%	46,543,554.11	8.33%
80%	47,329,434.62	8.39%
90%	48,413,963.83	8.47%
100%	54,311,790.99	8.91%

10.000 Trials Frequency View 9.946 Displayed

VAN Económico-Social Parla

Probability

Euros

Frequency

100.00 %

Escenario 2		
Percentiles	VAN	TIR
0%	94,829,448.12	7.61%
10%	102,664,574.83	8.00%
20%	104,215,807.44	8.08%
30%	105,395,614.14	8.14%
40%	106,377,226.51	8.19%
50%	107,297,694.03	8.24%
60%	108,208,583.99	8.28%
70%	109,177,980.68	8.33%
80%	110,383,695.65	8.39%
90%	111,936,757.28	8.47%
100%	122,073,549.59	8.99%

10.000 Trials Frequency View 9.945 Displayed

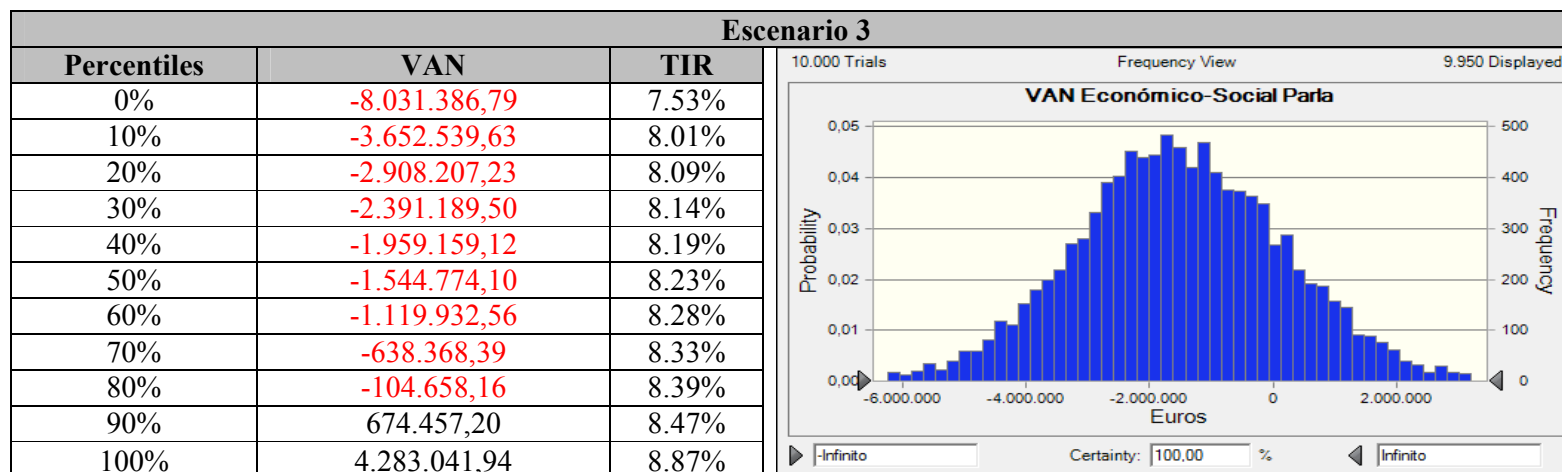
VAN Económico-Social Parla

Probability

Euros

Frequency

100.00 %

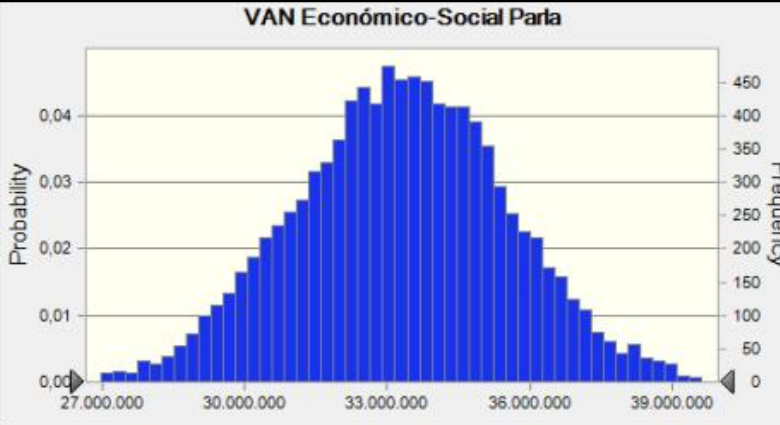
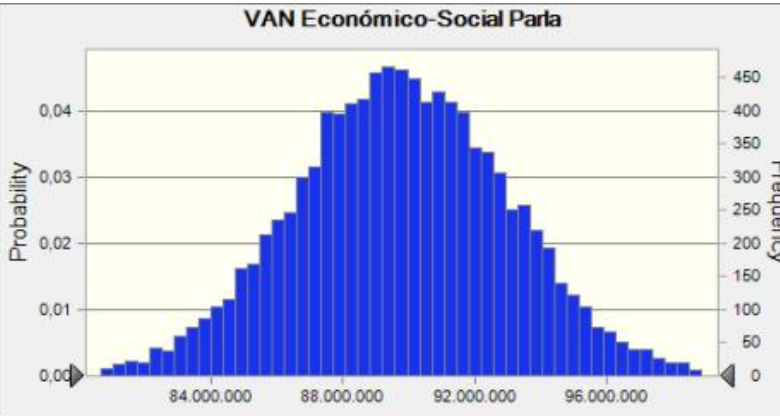


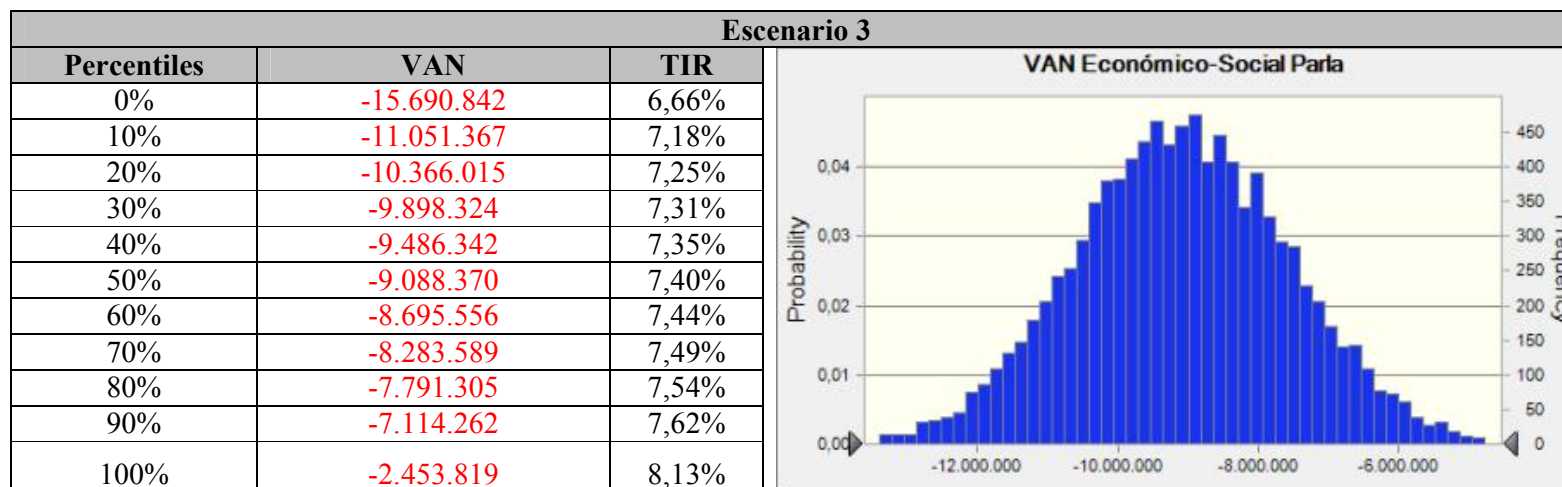
Fuente: Elaboración propia a partir de resultados de la simulación Montecarlo.

En el modelo con variante, se puede ver cómo en las líneas anteriores que el efecto de la demanda real ha provocado efectos sobre los intervalos del VAN y de la TIR en la simulación Montecarlo, ofreciendo valores inferiores.

De igual forma, que viene sucediendo en todo el estudio de simulación Montecarlo, los valores del ACB en el modelo con variante están situados en torno al percentil central. En concreto, los datos del ACB eran en el escenario 1, 33.314.800 euros, para el escenario 2, 89.722.788 euros y en el escenario 3, -9.085.182 euros, con lo que como puede verse en la tabla se encontrarían alrededor de la referida posición central.

Tabla 5.11. Simulación Montecarlo. Tranvía Parla versus Vehículo Privado. Modelo con variante.

Escenario 1			
Percentiles	VAN	TIR	
0%	24.023.386	6,67%	
10%	30.337.789	7,17%	
20%	31.389.329	7,25%	
30%	32.144.381	7,31%	
40%	32.744.433	7,35%	
50%	33.303.924	7,40%	
60%	33.879.946	7,44%	
70%	34.500.106	7,49%	
80%	35.159.684	7,54%	
90%	36.173.879	7,61%	
100%	42.284.417	8,12%	
Escenario 2			
Percentiles	VAN	TIR	
0%	77.533.488	6,79%	
10%	85.593.527	7,18%	
20%	87.042.858	7,26%	
30%	88.051.014	7,31%	
40%	88.925.716	7,36%	
50%	89.755.518	7,40%	
60%	90.569.269	7,44%	
70%	91.466.229	7,49%	
80%	92.498.174	7,54%	
90%	93.877.766	7,61%	
100%	102.747.663	8,05%	



Fuente: Elaboración propia a partir de resultados de la simulación Montecarlo.

b) Metro Ligero Vs Autobús

Las conclusiones varían cuando introducimos como alternativa el autobús. Así, en el Escenario 1, los percentiles del VAN, según la simulación Montecarlo, son negativos.

En el ACB, lo mismo sucedía con el VAN -2.567.923. La TIR era positiva 4,55% y también sus percentiles, pero no lo suficiente como para superar la TSPT de este escenario.

Por tanto, teniendo en cuenta los resultados del VAN del ACB también, el proyecto de construir el tranvía de Parla frente a la alternativa de realizar el servicio con un autobús, no sería económico-socialmente rentable. Por el contrario, en el Escenario 2 al utilizar una TSPT inferior, los percentiles del VAN logran alcanzar valores positivos. El VAN por ACB para este escenario era de 31.101.137. Por último, en el Escenario 3, los percentiles del VAN y el VAN por ACB son negativos (-28.269.957). La TIR (4,55%) y sus percentiles son inferiores a la TSPT, con lo que este escenario el proyecto no sería económico-socialmente viable.

En definitiva, en estos tres Escenarios los intervalos de valores de VAN a que da lugar la simulación Montecarlo comprenden los obtenidos en el ACB en los percentiles centrales. Sólo este caso, el valor de la TIR del ACB se encuentra en los percentiles entre el 80% y el 100%, si bien de los resultados obtenidos en la simulación.

Tabla 5.12. Simulación Montecarlo. Tranvía Parla versus Autobús. Modelo Inicial.		
Escenario 1		
Percentiles	VAN	TIR
0%	-2.892.398,6307	4,5141%
10%	-2.672.634,0016	4,5353%
20%	-2.635.995,3083	4,5389%
30%	-2.610.787,3433	4,5413%
40%	-2.589.911,6750	4,5433%
50%	-2.569.543,5187	4,5453%
60%	-2.548.816,5325	4,5473%
70%	-2.526.282,6584	4,5495%
80%	-2.500.909,6782	4,5520%
90%	-2.463.427,4914	4,5556%
100%	-2.231.919,4070	4,5782%

10.000 Trials Frequency View 9.954 Displayed

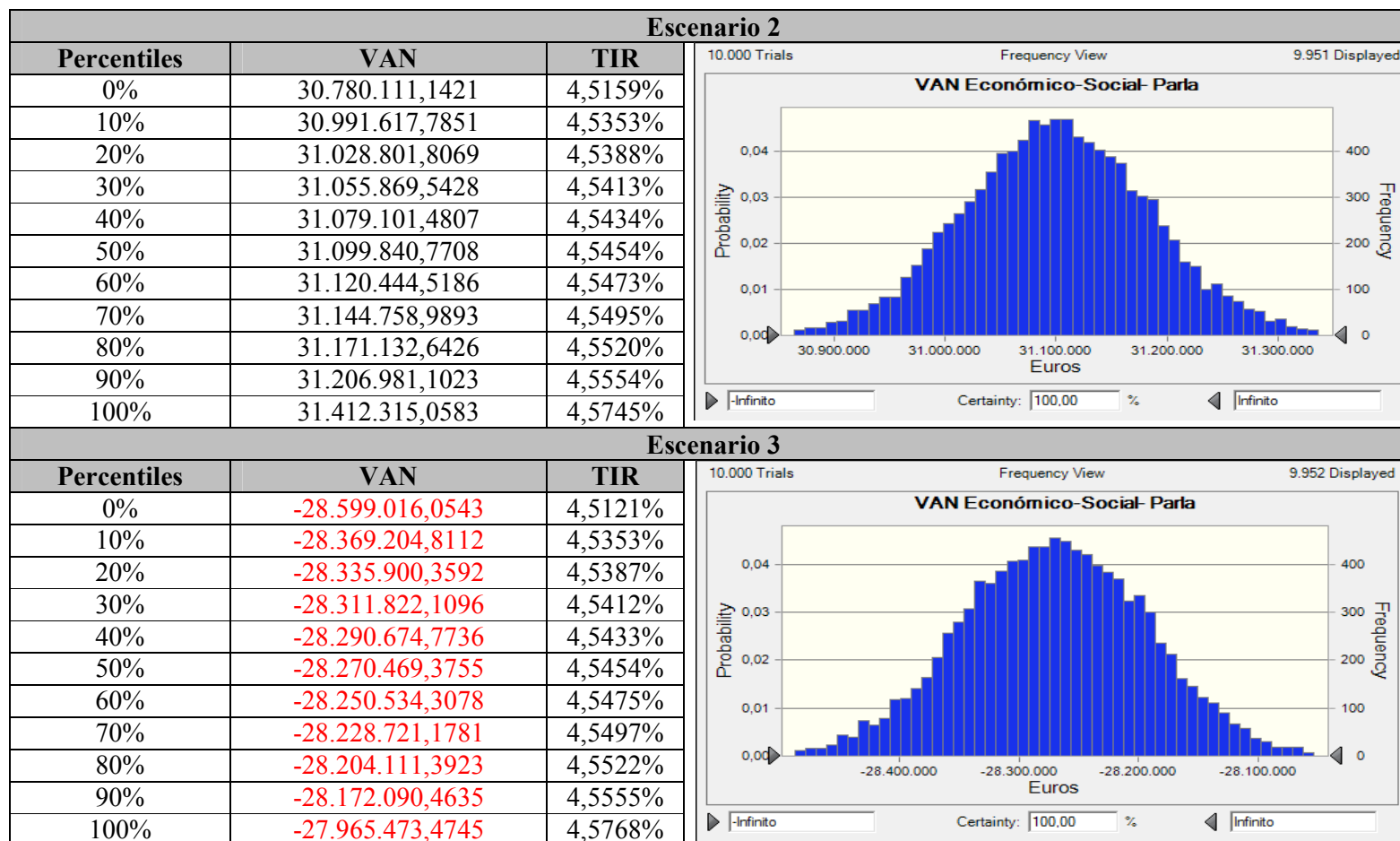
VAN Económico-Social- Parla

Probability

Euros

Frequency

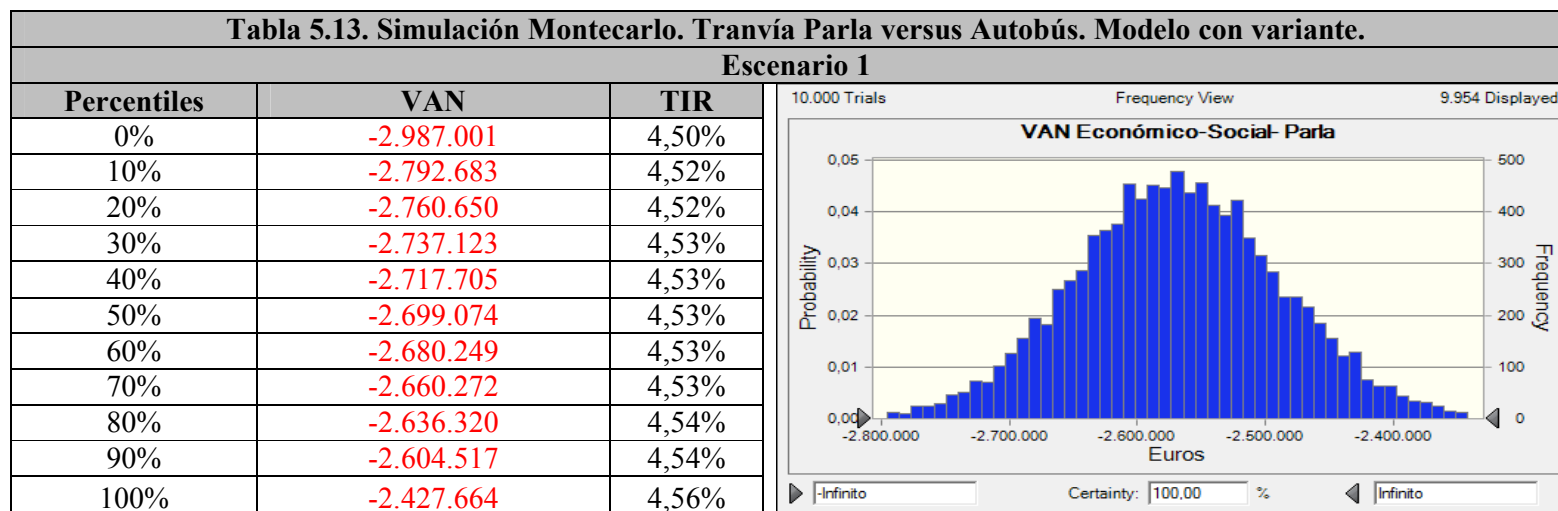
certainty: 100,00 %

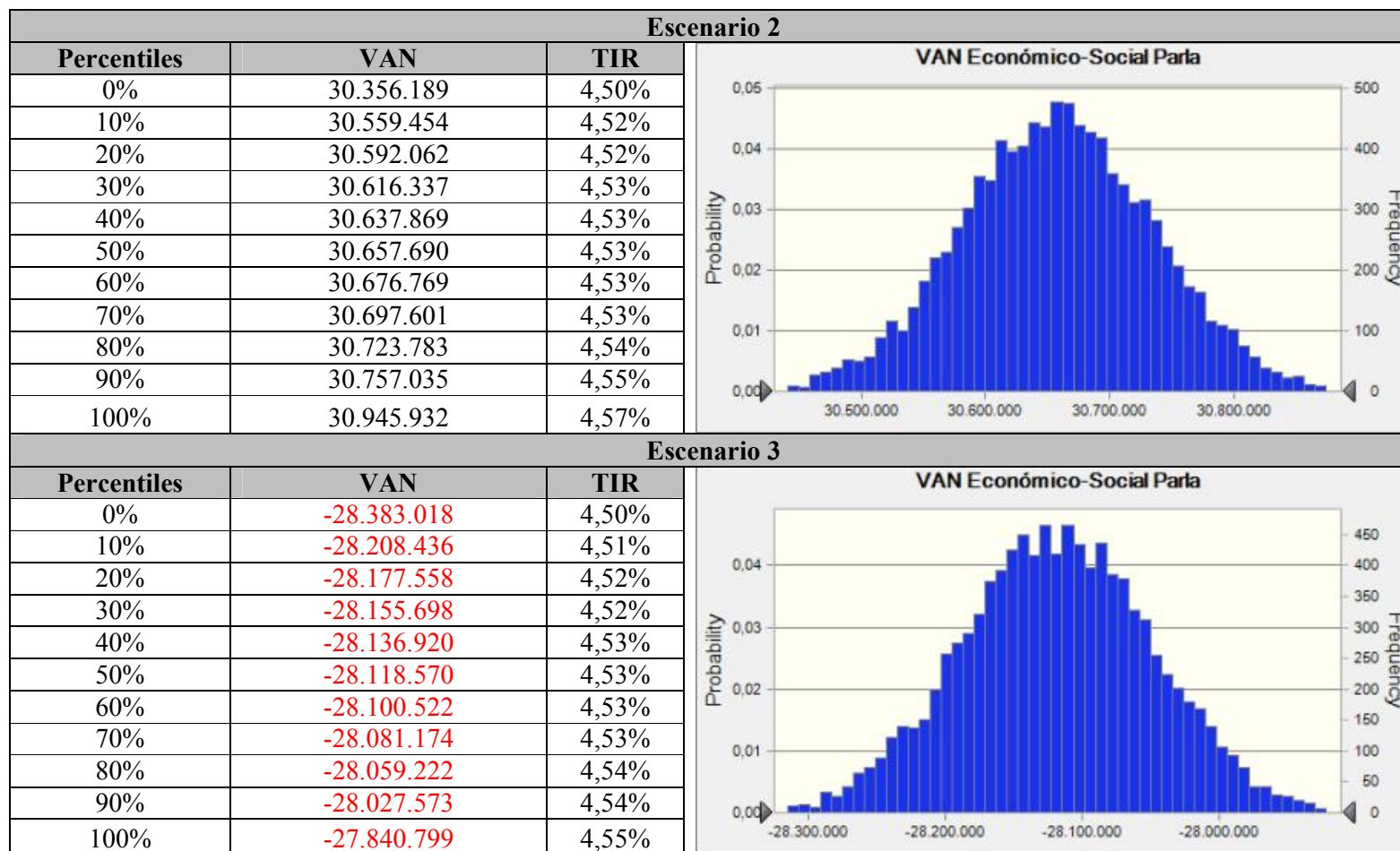


Fuente: Elaboración propia a partir de resultados de la simulación Montecarlo.

Por último, señalar los datos en el análisis relativo del Tranvía de Parla frente al autobús para el modelo con variante. A la vista de los datos entre ambas simulaciones (modelo inicial y modelo con variante), se puede concluir como acontecía con el resto de casos que el descenso en la demanda real frente a la estimada redundaba en peores resultados. Sin embargo, en el caso del Tranvía esa disminución ha sido menor que en las otras líneas analizadas de metro ligero con lo que la disminución en los resultados también ha sido más reducida.

Analizando los escenarios del modelo con variante, en el ACB los datos que ofrecían este modelo eran en el escenario 1, -2.698.749 euros, en el escenario 2, 30.658.433 euros y en el escenario 3, -28.118.266 euros, de manera que están implícitos en los resultados de la simulación Montecarlo y de esta forma se da un refuerzo importante a los resultados. De igual modo, se produce con la TIR.





Fuente: Elaboración propia a partir de resultados de la simulación Montecarlo.

5.6.Conclusiones

La simulación Montecarlo es una técnica que evalúa proyectos valorando los distintos valores que una variable incluida en el modelo puede tomar, introduciendo la incertidumbre en el análisis de los proyectos de inversión.

El método de Montecarlo es un instrumento de programación que emplea un muestreo artificial. La esencia del modelo es la realización de varias simulaciones con las que se obtienen valores de carácter aleatorio de las variables de entrada.

La simulación Montecarlo da a conocer al decisor de un proyecto tanto el valor del resultado como sus probabilidades a lo largo de un intervalo con las condiciones que se decidan introducir en el modelo. Constituye una herramienta que permite conseguir por parte del agente que la emplea una mayor seguridad en los proyectos de transporte que vaya a realizar.

Este método analiza el riesgo elaborando un conjunto de resultados posibles sustituyendo a un intervalo de valores. A continuación, calcula reiteradamente resultados empleando valores aleatorios diferentes de las funciones de probabilidad. Como ventajas de utilizar la simulación Montecarlo señalar que los resultados dan información no sólo de estimaciones de resultados sino también de la probabilidad de que las mismas sucedan, detecta las variables del modelo de mayor peso sobre los datos finales.

Con la simulación Montecarlo, este trabajo permitirá dar una perspectiva añadida para dar consistencia a los resultados. Al ser una técnica que valora los proyectos de inversión teniendo en cuenta que hay variables empleadas para hallar los flujos netos de caja y que no son variables que alcanzan un valor determinado, permite introducir el riesgo en la valoración de los proyectos de inversión de transporte urbano público.

Se ha procedido a la aplicación de la simulación Montecarlo a las líneas de metro ligero de la Comunidad de Madrid de Metro ligero: (ML1 (Pinar de Chamartín-Sanchinarro-Las Tablas), ML2 y ML3 (Colonia Jardín-Pozuelo de Alarcón y Boadilla del Monte) y el tranvía de Parla).

La simulación Montecarlo amplía las conclusiones que se pueden extraer del análisis coste beneficio realizado también esta tesis doctoral. Al utilizar un método no determinístico se ha podido ver todos los resultados posibles de las decisiones que tomamos –en base a determinadas probabilidades- y evaluar la incidencia del riesgo, lo que permite tomar mejores decisiones cuando hay incertidumbre.

Las variables de entrada son la demanda potencial (modelo inicial) y la obtenida de la empleo del efecto de la demanda real disponible en el momento de finalización de esta tesis doctoral (modelo con variante), cuyos valores siguen una función de distribución de probabilidad Normal. Las iteraciones tomadas son diez mil y el nivel de confianza noventa y cinco por ciento. Los criterios de decisión sobre los que se ha aplicado la simulación han sido el VAN y TIR. En particular, se ha estudiado su función de distribución con los valores que toman los mencionados criterios de decisión con, entre otros elementos, sus respectivas probabilidades y los percentiles de la distribución.

A mayor abundamiento, en este estudio se ha diferenciado los casos en los que se comparaba por un lado, el metro ligero y el vehículo privado, y el metro ligero con el autobús. Para cada uno de ellos, se ha realizado la simulación Montecarlo, para tres casos distintos en función de tres escenarios diferentes.

La contribución de esta tesis con la aplicación de la simulación Montecarlo consiste en utilizar una herramienta complementaria que permita profundizar y reforzar en los resultados obtenidos con otras metodologías, en este caso, el análisis coste beneficio.

A la vista de los resultados obtenidos de la simulación Montecarlo se puede concluir que es un instrumento idóneo como complemento del análisis coste beneficio, ya que permite afianzar los resultados obtenidos de una manera más integral.

Se han realizado diversas simulaciones, generándose valores aleatorios para el conjunto de valores de demanda potencial y se han pronosticado diversos valores que tomarían los criterios de decisión con una determinada probabilidad, para un nivel de confianza del 95%.

Los percentiles obtenidos muestran las distintas probabilidades de los valores que, para un nivel de confianza del 95%, pueden ir tomando el VAN y la TIR, adquiriendo el estudio más consistencia y, por tanto, más fiabilidad para la toma de decisiones sobre acometer o no un determinado proyecto, -en este caso, un metro ligero frente a otras alternativas: el uso del autobús o del vehículo privado-.

De hecho, como ha quedado demostrado, la simulación Montecarlo ha permitido ampliar la información sobre el comportamiento del VAN y la TIR que se obtienen del análisis coste beneficio, mientras que este último daba un valor del VAN con un signo concreto.

En toda la simulación Montecarlo realizada para todas las líneas y con independencia del escenario y del medio de transporte alternativo considerado (tanto en el modelo inicial como en el modelo con variante), los intervalos de valores de VAN y TIR que calcula la simulación Montecarlo incluyen los obtenidos en el ACB y en general, en los percentiles centrales.

Adicionalmente, el modelo con variante, siguiendo el comportamiento de los resultados del ACB, presenta intervalos con menores valores de VAN y TIR que el modelo inicial, reflejando así el efecto de la reducción de la demanda real sobre la estimada en todas las líneas estudiadas.

De esta manera, con la simulación Montecarlo, no sólo de forma numérica sino también gráfica, el agente decisor puede constatar de manera más completa si realmente es viable o no el proyecto a realizar, desde un punto de vista económico-social.

En definitiva, la simulación Montecarlo permite emplear un método que da una serie de resultados posibles de las decisiones que podemos tomar y evaluar los efectos del riesgo. Este hecho facilita la mejora de la toma de decisiones en un marco de incertidumbre.

Es por ello por lo que en los estudios de viabilidad y en un estudio posterior a la puesta en funcionamiento del proyecto de transporte de que se trate, se recomienda la utilización de la simulación Montecarlo como un complemento idóneo a la aplicación del análisis coste beneficio, puesto que se consigue una información más completa y perfeccionada sobre este tipo de proyectos.

6. CONCLUSIONES

En esta tesis doctoral se ha estudiado la eficacia y la eficiencia de un caso particular de servicio público de transporte, los metros ligeros de la Comunidad de Madrid, que se han construido y puesto en funcionamiento a través del sistema concesional.

La elaboración de este trabajo en el marco de una crisis económica como la vivida en estos años ha sido muy adecuada, ya que en esta fase del ciclo económico la contención del gasto público y la menor disponibilidad de recursos públicos son aspectos fundamentales a tener en cuenta. Los gastos en infraestructuras se caracterizan porque implican inversiones que comprometen un elevado montante de fondos públicos y por tanto, llevan implícito un gran coste de oportunidad. De esta forma la motivación de esta tesis doctoral ha sido introducir en este contexto una combinación de instrumentos para decidir de forma fundamentada y responsable si un proyecto de esta envergadura es eficiente y eficaz, en particular en las líneas de metro ligero de la Comunidad de Madrid.

La fórmula de concesión en las líneas de metro ligero analizadas permite combinar la actuación pública y privada en proyectos el sector público por sí solo no podría acometer por su elevado coste. No obstante, la concesión pública debe ser un instrumento viable para la Administración Pública, ya que tiene un coste. Es importante advertir, como sí se ha hecho en esta tesis doctoral que, no porque el sector privado construya una infraestructura y gestione su puesta en marcha, significa que al erario público no le suponga ningún coste. El sistema concesional tiene coste de reversión al final de la concesión, supone también costes durante la concesión en términos de subvenciones o pago de determinadas tarifas y puede acarrear un importante gasto para la Administración Pública la quiebra del concesionario. Con lo que es necesario estudios pormenorizados de este tipo de proyectos que se rigen bajo el sistema concesional y que tienen un elevado coste en inversión y mantenimiento.

El objetivo que se plantea en este trabajo es responder a la siguiente pregunta: ¿son eficientes y eficaces a nivel económico, social y medioambiental las líneas de metro ligero de la Comunidad de Madrid?

Para ello, se han empleado tres metodologías distintas: el análisis coste beneficio (ACB), el análisis multicriterio (AMC) y la simulación Montecarlo (SM).

En cuanto al ACB utilizado ha sido el tradicional o por fases cuyo objetivo es informar sobre la rentabilidad de una determinada propuesta de inversión. Tiene en cuenta flujos ingresos y costes directos e indirectos, así como intangibles previamente monetizados, que posteriormente se actualizan con una tasa social de descuento.

Respecto al análisis multicriterio, se han definido diversos criterios que se han cuantificado mediante indicadores. Posteriormente, se han construido las funciones de utilidad de cada indicador y se ha obtenido la utilidad final.

Por lo que se refiere, a la simulación Montecarlo a partir de funciones de probabilidad de variables de entrada, en este caso de la demanda estimada o la real según el modelo inicial o con variante, ofrece una serie de datos aleatorios de los criterios de decisión del VAN y de la TIR que se obtuvieron en el ACB, con un nivel de confianza del 95%.

Por tanto, con los estudios realizados en esta tesis doctoral se contribuye, en primer lugar, a medir el nivel de eficiencia y eficacia económica, social y medioambiental de proyectos de líneas de metro ligero. Los modelos construidos no tiene solamente en cuenta la figura de la concesión del metro ligero en términos absolutos, sino que son modelos más complejos que incluyen la comparativa de cada línea metro ligero con en un caso, con una alternativa de transporte público, el autobús y, en otro caso, la línea de metro ligero con respecto al vehículo privado.

Asimismo, se han construido dos modelos distintos: un modelo inicial que tiene en cuenta el pronóstico de demanda prevista en los estudios de viabilidad de cada línea y

un modelo con variante que incluye el efecto de la demanda real disponible. De este modo se compara también la situación previa y la posterior a la puesta en funcionamiento.

En segundo lugar, se aborda un análisis integral en términos monetarios y de utilidad y se introduce la variable incertidumbre en los resultados. En tercer lugar, conjugando tres metodologías diferentes para la evaluación: Análisis coste beneficio, el análisis multicriterio y la simulación Montecarlo, se aporta un instrumento muy complemento para emplearlo en los estudios de viabilidad de proyectos públicos.

Los resultados que se han obtenido del trabajo realizado en la presente tesis doctoral muestran conclusiones muy interesantes que a continuación se exponen, si bien de forma más detallada pueden verse tales resultados y corolarios en cada capítulo y, en particular estos últimos, en los apartados de conclusiones de cada capítulo.

En ese sentido, se ha demostrado que en el ACB y la SM, el metro ligero obtiene mejores resultados en comparación con el vehículo privado, debido a las externalidades.

El metro ligero aporta más externalidades positivas con el vehículo privado que con respecto al autobús en materia de contaminación ambiental y nivel de accidentes. Sin embargo, el vehículo privado permite un mayor ahorro de tiempo.

Comparado con el autobús, el metro ligero genera una mayor externalidad positiva en contaminación acústica.

La demanda es una variable de influencia fundamental en los resultados. Por ello, el estudio realizado en esta tesis doctoral ha sido muy completo porque analiza qué pasa cuando se aplica la demanda estimada (modelo inicial) y lo que sucede cuando se incluye el efecto de la demanda real (modelo con variante). Asimismo, a mayor demanda (análisis de sensibilidad) los resultados obtenidos son más optimistas.

El efecto de la demanda real (modelo con variante) da lugar a resultados menos favorables de VAN y TIR en todos los supuestos analizados y, en algunos casos al paso de VAN y TIR positivos en el modelo inicial a VAN y TIR negativos en el modelo con variante.

Otro elemento importante en el estudio efectuado son los costes de inversión, es decir, de construcción y mantenimiento de las líneas de metro ligero, que son muy elevados.

La tasa social de preferencia temporal actúa de forma inversa a la evolución del VAN.

En el AMC la utilidad es mayor en el caso de la comparativa del metro ligero respecto al autobús, especialmente por la contribución del indicador del nivel del ruido respecto al escaso valor obtenido con carácter general en el resto de indicadores.

En particular, los resultados menos favorables han sido en la línea ML1 en cualquiera de las metodologías. En general, hubiera sido preferible, de adoptar una alternativa de transporte público por las áreas de paso de las líneas de metro ligero ya construidas, haber establecido líneas de autobuses.

Los valores obtenidos en el ACB se incluyen, con carácter general, en los percentiles centrales del estudio realizado por simulación Montecarlo.

No se trata de estar a favor o en contra del sistema de concesión pública sino de alertar de la necesidad de realización de una evaluación económica, social y medioambiental antes de decidir llevar a cabo un proyecto, especialmente de la envergadura de los analizados, ya que se compromete un ingente volumen de recursos públicos.

Para resumir, la conclusión final que da respuesta al objetivo que se plantea en la presente tesis doctoral es que en las líneas analizadas, no hay eficiencia, no hay eficacia económica, hay eficacia social y medioambiental de forma aislada, pero en el análisis conjunto con la eficacia económica, aquella no es suficiente para que las líneas de metro

ligero analizadas sean viables desde una perspectiva global económica social y medioambiental.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Accinelli, E. y Tenorio, L. “Monopolios naturales y tecnología”. Ensayos Revista de Economía–Volumen XXXI, No.1, mayo 2012, pp. 99-115.

Agencia Europea de Medio ambiente. “La contaminación atmosférica”, AEMA, 2013.

Alcalde Fernández, O. “La nueva era del tranvía como modo de transporte: ¿necesidad o moda?”. Universidad Politécnica de Cataluña. 2012.

Aguilera Moreno, A.A. "Análisis económico para proyectos de infraestructura carretera (una propuesta metodológica)", 2013.

Albalate, D. y Bel, G. “Cuando la economía no importa: auge y esplendor de la alta velocidad en España”, Revista de Economía Aplicada, 55 (19), 171-190. 2011.

Albalate, D. “Evaluación del impacto de las renegociaciones de contratos de concesión: el caso de la AP-7 (Aumar)” Universitat de Barcelona (GIM). 2012.

Albarracín Sosa, D. “Evaluación de la aplicación de metodologías de recolección de información por cadenas de viajes para caracterizar la demanda de transporte urbano e interurbano de personas en el ámbito colombiano” (Doctoral dissertation, Universidad Nacional de Colombia). 2013.

Albi, E. y VVAA. “Economía Pública I: Fundamentos, Presupuesto y Gasto, Aspectos Macroeconómicos”. 3ª Edición Actualizada. Ariel Economía. 2013.

Alonso Romero, G. “Optimización de la administración de los servicios públicos municipales a partir de un sistema de información geográfica basado en la red vial. Caso de estudio: transporte urbano de pasajeros en el municipio de Guanajuato”. 2013.

Andriolo, C. y Giacomini, C. “Tranvía, ayer y hoy”. Archipiélago, nº 18 y 19. 1994.

Auriol, E. & Picard, P.M. “A theory of BIT concession contracts”. Journal of Economic Behavior and Organization 89, 187-209, 2009.

Aparicio A. “La toma de decisiones en la política española de transporte: aportación y limitaciones de la evaluación y proyectos”. Universidad Politécnica de Madrid. 2010.

Aparicio, A. "El análisis coste-beneficio como herramienta para una gestión pública basada en evidencias". *Economía industrial*, (390), 23-32. 2013.

Aravena González, O. A. “Efectos de la información imperfecta sobre impuestos pigouvianos con agentes no atomísticos: el caso de los aeropuertos congestionados” (Doctoral dissertation, Universidad de Chile). 2013.

Argote Cabañero, J. “Pooling de concesiones de infraestructuras de transporte en project finance”. Universidad Politécnica de Cataluña, 2010.

Atkinson, S.E y Halvorsen, R. “Parametric efficiency tests, economies of scale, and input demand in US electric power generation”. International Economic Review. 1984; 25(3):647-662.

Autoritat del Transport Metropolità. “Costes sociales y ambientales de transporte en la RMB”. 2006.

Ayuntamiento de Madrid. “Proyecto estratégico del área central de Madrid”. 2011.

Azqueta, D. “Valoración económica de la calidad ambiental. Ed. Alianza, Madrid. 1994.

Azqueta, D. y Ferreiro. A. “Análisis económico y gestión de recursos naturales” Alianza Editorial. Madrid, 1994.

Baeza Muñoz, M. A. “Planificación económico-financiera de las concesiones de autopistas de peaje. Un estudio empírico del caso español”. Universidad de Granada. 2008.

Bain, R. “Error and optimism bias in toll road traffic forecasts”. *Transportation* 36: 469 – 482. 2009.

Baumol, W.J., Bailey, E.E. y Willig, R.D. (1977): “Weak Invisible Hand Theorems on pricing and entry in a multiproduct monopoly”, *American Economic Review*, n.67, pp. 350-365, june.

Bel, G. “Infrastructure and nation building: The regulation and financing of network transportation infrastructures in Spain (1720-2010)”, *Business History*, 53(5), 688-705. 2011.

Berenger, L. “Hacia una regulación más favorecedora de la competencia en la contratación pública”. AERCO, Boletín mayo 2009.

Berg y Tschirhart. “Natural Monopoly Regulation: Principle and Practice”. Cambridge University Press, 1988.

Bernal Muñiz, E.C. "Programa de movilidad urbana sustentable “ECOBICI”, un caso de cooperación internacional para el desarrollo", 2013

Betancor, O. y Llobet. G. “Contabilidad financiera y social de la alta velocidad en España”. *Estudios sobre Economía Española* 2015/08. FEDEA, 2015.

Betancor, O. y Valido, J. “Manuales y procedimientos para la evaluación de proyectos de transporte”. Documento de trabajo. Febrero 2009.

Birdsall, N. and Nellis, J. "Winners and Losers: Assessing the Distributional Impact of Privatization", Working Paper No. 6, Center for Global Development, Washington, D.C, 2002.

Bond, M.T. y VV.AA "Residential Real Estate Prices: A Room with a View," Journal of Real Estate Research, 2002, 23:1/2, 129-137.

Brent Robert J. "Applied Cost-Benefit Analysis", 2ª Edición, Ed. Edward Elgar 2007

Briggs, A.H. y VV.AA. "Probabilistic analysis of cost-effectiveness models: choosing between treatment strategies for gastroesophageal reflux disease". Medical Decision Making 22(4):pp. 290-308. 2002.

Camilo, A., y Alexander, M. Evaluación de alternativas para el ferrocarril interurbano entre ZMVM y ZMPU. 2014.

Campos, Javier y De Rus Mendoza, Ginés. "Dotación de infraestructuras y política europea de transporte". Papeles de economía española, ISSN 0210-9107, Nº 91, 2002 (Ejemplar dedicado a: Los desafíos de la construcción europea), pags. 169-181.

Capote, J. A. y VV.AA. Sistema Automatizado para la toma de Decisiones de Seguridad en Túneles de Carretera ante sucesos infrecuentes mediante el Modelado y Simulación Computacional (Vol. 15). Daniel Alvear. 2011

Caride Fernández, M.J; González Martínez, X.M. "Análisis coste beneficio de la conexión Galicia-Madrid con servicio ferroviario de Alta Velocidad", Universidad de Vigo, 2003.

Carlton, D.W.; Perloff, J.M.: "Modern Industrial Organization", Boston, Pearson Addison Wesley, 2004.

Carpintero López, S. “El desarrollo de los metros ligeros en las ciudades españolas y su influencia en el medio ambiente”. Universidad Politécnica de Madrid. 2007.

Carrasco Díaz, D., Delgado Jalón, M.L y Sánchez Toledano, D. “Observatorio de Costes y Financiación del Transporte Urbano Colectivo”. Cátedra de Eco transporte, Tecnología y Movilidad, 2011.

Cascajo Jiménez, R. “Metodología de evaluación de efectos económicos, sociales y ambientales de proyectos de transporte guiado en ciudades”. Universidad Politécnica de Madrid. 2004.

Cascajo Jiménez, R. “Efectos sobre la movilidad de metros y tranvías”. I.T. N° 76. 2006.

Cascales Moreno, J.A. “Sostenibilidad del transporte en las grandes urbes y su incidencia ambiental. El caso de Madrid”. Colegio de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos, 2012.

Castañer Castillo, Carmen. “Estudios de los tranvías de España en la actualidad”. Escuela Universitaria Ingeniería Técnica Industrial de Zaragoza, 2010.

Castro Cacñahuaray, H. "Concesiones viales en Europa, América Latina y Perú". 2014.

Cipoletta Tomassian, G. et al. “Políticas integradas de infraestructura, transporte y logística: experiencias internacionales y propuestas iniciales”. División de Recursos Naturales e Infraestructura. CEPAL, Naciones Unidas. Santiago de Chile, 2010.

Cisneros Comboni, D. L. Estado del arte y prospectiva de la evaluación socioeconómica en proyectos carreteros. 2014.

Commoner Barry. "Frail Reeds in a Harsh World". New York: The American Museum of Natural History. Natural History. Journal of the American Museum of Natural History, Vol. LXXVIII No. 2, February, 1969, p. 44).

Comunidad de Madrid. Datos de Contabilidad Regional. 2007 y ss.

Comunidad de Madrid. Leyes de presupuestos. 2007 a 2014.

Comunidad de Madrid. "Pliego de cláusulas administrativas particulares que han de regir el contrato de concesión de obra pública para la construcción y la explotación de las líneas de metro ligero de la Comunidad de Madrid T1 entre Pinar de Chamartín-Sanchinarro-Las Tablas, T2 entre Colonia Jardín y Pozuelo de Alarcón y T3 entre Colonia Jardín y Boadilla del Monte". PCAP, 2006.

Consorcio Regional de Transportes de Madrid. "La integración: un desafío para el transporte público". 2003.

Consorcio Regional de Transportes de Madrid. "Encuesta Domiciliaria de Movilidad". 2004.

Consorcio Regional de Transportes de la Comunidad de Madrid y Ayuntamiento de Parla. "Pliego de cláusulas administrativas particulares del contrato de concesión para la construcción, mantenimiento y explotación de la línea 1 del Tranvía de Parla en el que se incluyen como prestaciones anejas la redacción del proyecto de construcción y la adquisición del material móvil". PCAP, 2005.

Consorcio Regional de Transportes de Madrid. Informe anual 2007.

Consorcio Regional de Transportes de Madrid. "Metros ligeros y tranvías en Madrid". 2010.

Consorcio Regional de Transportes de Madrid. “25 imágenes en la historia del transporte público en Madrid”. 2011.

Consorcio Regional de Transportes de Madrid. Informe anual 2010.

Consorcio Regional de Transportes de Madrid. Informe anual 2011.

Consorcio Regional de Transportes de Madrid. “Demanda del transporte público colectivo”. 2012.

Consorcio Regional de Transportes de Madrid. Informe anual 2012.

Consorcio Regional de Transportes de Madrid. Informe anual 2013.

Corbacho, I. “Mètode Integrat de Valor per a Avaluacions de la Mobilitat Urbana Sostenible (MIVEMUS). Escola de Camins. UPC. Barcelona, 2015.

Corporación Rehovot, S.A. “Análisis Costo Beneficio Ampliación y Modernización de Línea 1 Tren Ligero Guadalajara TLG-1” FIDEUR. Gobierno del Estado de Jalisco. 2012

Crook, J.N.: "Investment Appraisal: Cost-Benefit Analysis" en The Evolution of Public Management. Concepts and Techniques for the 1990s. Ed. Colin Duncan. Macmillan Press. 1992. pp.140-184.

Cruz Roja Española. “La Contaminación acústica”, 2013.

Cuadrado, C. “Línea Pinar de Chamartín-Sanchinarro-Las Tablas”. Metros Ligeros de Madrid, S.A. 2006.

Delgado, Jalón, M.L y Rivero Menéndez, J.A. “Contexto europeo del transporte público”. XXV Congreso anual de AEDEM, Valencia, 2011.

De la Cruz, J. “Principios de regulación Económica en la Unión Europea”. Instituto de Estudios Económicos, Madrid, 2002.

De Rus Mendoza, G. “Infraestructuras de transporte: la necesidad de aplicar los principios económicos básicos”. Revista del Instituto de Estudios Económicos, ISSN 0210-9565, Nº 2-3, 2003, pags. 259-270.

De Rus G, Campos J. y Nombela G.: “Economía del transporte”. Antoni Bosch, editor, S.A 2003.

De Rus Mendoza, G. “Análisis Coste-Beneficio: Evaluación Económica de políticas y proyectos de inversión”. 2ª edición actualizada. Ariel 2004.

De Rus Mendoza, G. “Análisis coste-beneficio: un método con mayores beneficios que costes”. Economistas, ISSN 0212-4386, Año Nº 23, Nº 105, 2005 (Ejemplar dedicado a: La eficiencia de los servicios públicos: viejos problemas, nuevos enfoques), págs. 60-68.

De Rus Mendoza, G. y Román, C. “Análisis Económico de la Línea De Alta Velocidad Madrid-Barcelona”. Revista de Economía Aplicada Número 42 (vol. XIV), 2006, págs. 35 a 79.

De Rus Mendoza, G. “Infraestructuras: más iniciativa privada y mejor sector público”. Departamento de Análisis Económico Aplicado de la Universidad de Las Palmas de Gran Canaria. Fundación Alternativas, 2007.

De Rus, G. “Análisis coste-beneficio: Evaluación económica de políticas y proyectos de inversión. Ariel Economía, 3ª edición actualizada. Ed. Ariel, 2008.

De Rus Mendoza, G. "The BCA of HSR: Should the government invest in high speed rail infrastructure?". The Journal of Benefit-Cost Analysis, 2011, vol 2 (1).

De Rus, G. "The BCA of HSR: Should the government invest in high speed rail infrastructure?" The Journal of Benefit-Cost Analysis, vol 2 (1), 2011.

De Rus, G. "Economic evaluation of the high speed rail". Expert Group on Environmental Studies. Ministry of Finance. Sweden, 2012.

Estudio de viabilidad funcional y económica del proyecto del nuevo Tranvía de Parla 2007. ETT, 2006.

Empresa Municipal de Transportes de Madrid. Memoria Anual. 2007.

European PPP Expertise Centre (EPEC). "Eurostat Treatment of Public-Private Partnerships. Purposes, methodology and recent trends", 2010.

Estache, A., Ellis, J. & Trujillo, L. "Public-Private Partnerships in Transport". World Bank, 2007.

Estache, A. Limi, A. & Ruzzier, C. "Procurement in Infrastructure. What Does Theory Tell Us". World Bank, 2009.

Esteras González, Matías J., "Revista de obras públicas". Nº 3.337. ARO 141. Noviembre, 1994.

European Commission. "Evaluation Methods: Multicriteria Analysis". Europe Aid Cooperation Office. 2005.

European Commission. "Guide to Cost-Benefit Analysis of Investment Projects. Economic appraisal tool for Cohesion Policy 2014-2020", Regional and urban policy. December, 2014.

FEMP. "Factores determinantes del transporte público urbano colectivo en España". 2009.

Ferreira, D. y Khatami. K. "Financing private infrastructure in developing countries", World Bank, Washington, D.C., 1996.

Freeman, A.M. III "The Measurement of Environmental and Resource Values", 2ª edición. Resources for the Future, Washington D.C. 2003.

Gallego Losada R., Pires Jiménez, L. y Alonso Neira, M.A. "La ampliación del transporte público en Madrid y su impacto sobre el precio de la propiedad residencial". Universidad Rey Juan Carlos, 2009.

García, P. P. "Sistemas inteligentes de transporte: ¿por qué no?". Infraestructura Vial, 16(27). 2014.

García Utrera, J.L. "El AVE Madrid-Lisboa por Extremadura: Efectos territoriales y diferentes alternativas". 2002.

Gómez-Ibáñez, J.A. "Regulation of Private Infrastructure: Monopoly, Contracts and Discretion", Harvard University Press, 2004.

Gómez Ordóñez, J. L. "Informe sobre el Metro Ligero de Granada". Grupo de urbanismo y ordenación del territorio. Universidad de Granada .2010.

González García, J.A "Evaluación económica de la espuela de ferrocarril Tequisquiapan Vizarrón". 2013.

González Jiménez, A. “Actuaciones de metro ligero en la Comunidad de Madrid”. Comunidad de Madrid: El metro ligero de Boadilla del Monte y Pozuelo de Alarcón”, 2006.

González Jiménez, A. y VV.AA “Reaprendiendo a convivir con el metro ligero en la Comunidad de Madrid”. V Congreso Nacional de Ingeniería Civil, 2007.

González Savignat, M. y Anna Matas, A. "Evaluación económica de las inversiones en transporte", Ekonomiaz: Revista vasca de economía, ISSN 0213-3865, Nº. 73, 2010, págs. 60-77, 2010.

González, E., Moreno, E., y Cabello, F. Metodología de trazado de corredores ferroviarios de mínimo impacto ambiental. Caso particular: Alta velocidad Huelva (España)-Faro (Portugal). Informes de la Construcción, 64(527), 415-423. 2012.

Grant-Muller y VV.AA. “Economic appraisal of the European transport projects: the state of the art revisited, in Transport Reviews” 21, 2, 237-261. 2001.

Guasch, J.L. “Granting and Renegotiating Infrastructure Concessions: Doing it Right”, World Bank Institute Development Studies, Washington, D.C, 2004.

Guevara, C. A. y VV.AA. “Óptimo de sistema en transporte urbano: el efecto de incorporar la interacción entre buses y autos” 2013.

Gühnemann, A. “Prioritisation of a national road infrastructure programme using multi-criteria analysis”, Association for European Transport and Contributors, 2011.

Gutiérrez de Vera, F. “Infraestructura, desarrollo y concesiones”. Revista de Obras Públicas: Órgano profesional de los ingenieros de caminos, canales y puertos, ISSN 0034-8619, Nº. 3485, 2008 (Ejemplar dedicado a: V Congreso de la Ingeniería Civil (Sevilla, noviembre de 2007)), págs. 27-36.

Gutiérrez de Vera, F. y Dodero Jordán, L. "Infraestructura y concesiones. Un instrumento de desarrollo". ICE N° 838, 2007.

Gutiérrez-Domènech, M. "¿Cuánto cuesta ir al trabajo? El coste en tiempo y dinero? Documento de Economía La Caixa. N°11. Septiembre, 2008.

Hallowell, S.F y Harker, P.T. "Predicting on-time performance in scheduled railroad operations: methodology and application to train scheduling. Transportation Research, 1998.

Hanley, Nick y Barbier Edward B. "Pricing nature: Cost-Benefit Analysis and Environmental Policy". Ed. Edward Elgar, 2009.

Harberger, A.C. Estudios preparados por el profesor Arnold C. Harberger para el Uruguay; Montevideo: Banco Central del Uruguay, 1978.

Hermo García, M. "Métodos de evaluación de infraestructuras. Aplicación al caso del tranvía de Zaragoza", 2013.

Hernández, A. "Beneficios sociales de la alta velocidad ferroviaria: El papel de los accidentes y la congestión". 2012.

Hidalgo, D. "Comparación de Alternativas de Transporte Público Masivo - Una Aproximación Conceptual". Revista de ingeniería #21 facultad de ingeniería Universidad de los Andes. 2005.

Hoppe, E.I. & Schmitz, P.W. "Public-private partnerships versus traditional procurement: Innovation incentives and information gathering". The RAND Journal of Economics 44,56-74, 2013.

Instituto Nacional de Estadística (INE). Datos de Renta Bruta Disponible. 2007.

Instituto Nacional de Estadística (INE). Datos de población 2008.

Instituto Nacional de Estadística (INE). Datos de Padrón Continuo. 2014.

Inglada López de Sabando, V. y De Rus Mendoza, G. “Análisis coste-beneficio del tren de alta velocidad en España”. Revista de economía aplicada, ISSN 1133-455X, Vol. 1, Nº 3, 1993 , págs. 27-48.

Instituto Español de Comercio Exterior (ICEX). “Transporte ferroviario urbano en España. Cuadernos Sectoriales. Noviembre de 2006.

Iosa, E. & Martimort, D. “Risk allocation and the costs and benefits of Public-Private Partnerships”. The RAND Journal of Economics 43, 442-474, 2012.

Iosa, E. & Martimort, D. “The simple microeconomics of Public-Private Partnerships”. Journal of Public Economic Theory. Volume 17, Issue 1, pages 4-48, 2015.

Iturrioz del Campo, J. “Análisis coste/beneficio”. Diccionario Económico, Expansión. 2014.

Izquierdo, R. “Transportes: un enfoque integral”. 1994.

Izquierdo R y Vasallo, J.M “Estudio sobre los contratos de concesión de obras públicas”. Colegio de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos, 2002.

Jiménez, F. B. G., Castaño, J. A. A., y Gil, A. M. L. “Metodología de evaluación de la aptitud con relación a las infraestructuras viales ligadas a las actividades recreativas y deportivas en espacios naturales”. Departamento de Geografía, Universidad de Málaga. 2010.

Jones-Lee, M. and Loomes, G. "Valuation of safety". D.A. Hensher, K.J. Button (Eds.), Handbook of Transport and the Environment, Vol. 4, Handbooks in Transport, Elsevier, Oxford, 2003, pp. 451–462

Jordá Lope, P. "Análisis de la multimodalidad de los viajes en transporte público en Madrid". Centro de investigación del transporte-TRANSyT. Universidad Politécnica de Madrid. 2004.

Jordá Lope, P. y VV.AA. "Transit Systems Development for Urban Regeneration" Centro de investigación del transporte. Escuela técnica superior de ingenieros de caminos, canales y puertos. Universidad Politécnica de Madrid. 2009.

Kaldor, N. "Welfare Propositions in Economics and Interpersonal Comparisons of Utility". Economic Journal (The Economic Journal) 49 (195): pp. 549–552. 1939.

Krugman, P.R y Wells, R. "Introducción a la economía: microeconomía", Business y Economics, 2006.

Lara Galera, A. L. y Sánchez Soliño, A. "Evaluación de concesiones de autopistas considerando la teoría de opciones reales". Escuela técnica superior de ingenieros de caminos, canales y puertos. Universidad Politécnica de Madrid. 2002.

Lavilla Menéndez, M.V. y Bárzana González, J. "Reordenación de la red de autobuses urbanos en Oviedo: Bus Rapid Transit en Oviedo" (2011-2012). 2013.

Lazo Vitoria, X. "La crisis económica y su influencia en las infraestructuras: el caso de las sociedades concesionarias de autopistas de peaje y de autovías de primera generación". Universidad de Alcalá, 2012.

Lindberg, G. y VVAA. "Calculating Transport Accident Costs". Final report of the expert advisors to the high level group on infrastructure charging. 1999.

López Corral, A.M.; Sánchez Soliño, A. y Carpintero López, S. “Las concesiones de infraestructuras y equipamientos públicos en España”. Boletín Económico de ICE nº 2890, 2006.

Loro Aguayo, M., Arce Ruíz, R. M., y Otero Pastor, I. “Análisis de la caracterización territorial para la definición de corredores de carreteras. Análisis de los estudios informativos en España”. 2012.

Martí, O. “El tranvía moderniza Europa”. El País, 2002.

Martínez Álvaro, O. “Carreteras de peaje: Criterios de rentabilidad”. Escuela técnica superior de ingenieros de caminos, canales y puertos. Universidad Politécnica de Madrid. 2002

Martínez Castaño, Y. R. “El contrato de concesión en la organización del transporte público de Bogotá”. 2013.

Massiani, J. “Cost-Benefit Analysis of policies for the development of electric vehicles in Germany: Methods and results”. Transport Policy. Volume 38. February, 2015.

Maté Sanz, D. “Market and non-market operations. Demand risk control mechanisms in administrative concessions for transport infrastructures”. Revista de obras públicas. 2005. Nº 3452

Metro Ligero Oeste, S.A. “Metro Ligero Oeste”. Sin fecha.

Ministerio de Fomento, Ministerio de Medio Ambiente, Medio Rural y Marino y CEDEX. “Manual de evaluación económica de proyectos de transporte”, 2010.

Ministerio de Fomento. “Memoria del Consejo de Obras Públicas”, 2012.

MINTRA. “Estudio de viabilidad para la nueva Línea de Metro Ligero desde Pinar de Chamartín a Sanchinarro- Las Tablas, 2007. Año elaboración 2006.

MINTRA. “Estudio de viabilidad para la nueva Línea de Metro Ligero desde Colonia Jardín hasta Pozuelo de Alarcón y desde Colonia Jardín a Boadilla del Monte, 2007. Año elaboración 2006.

Mishan, E.J. “Cost-benefit Analysis”. 1976.

Morán Méndez, E. "Costes y beneficios de la financiación privada de infraestructuras: análisis aplicado a las autovías gallegas, Consello de Contas de Galicia, Universidad de A Coruña, 2012.

Nash, C. “Current debates on the cost-benefit analysis of transport projects in Great Britain”. Cuadernos económicos de ICE, Nº 80, págs 63 y ss. Diciembre 2010.

Navazo, M. "La errónea supeditación del planeamiento territorial a la planificación de las infraestructuras de transporte: el caso catalán, 2006-2010, Architecture, City and Environment,, 8 (23):125-164, 2013.

Neri, M., Menconi, M. E., Vizzari, M., y Mennella, V. G. Propuesta de una nueva metodología para la ubicación de infraestructuras viarias ambientalmente sostenibles. Aplicación en el tramo viario de la pedemontana Fabriano-Muccia. Informes de la Construcción, 62(517), 101-112. 2010.

Pablo-Martí, F. “Las infraestructuras madrileñas de transporte y la crisis económica: la necesidad de un cambio de prioridades”. Economistas, ISSN 0212-4386, Año Nº 29, Nº 126, 2011. Págs. 329-333.

Panzar, J.C. and Willig, R.D. “Free entry and the sustainability of natural monopoly”, Bell Journal of Economics, n.8, pp. 1-22. 1977.

Prest, A. R., y R. Turvey, "Cost-Benefit Analysis: A Survey", Economic Journal, 1965.

Primelles Fariñas, J. y Lao Ramos, B.: “Análisis multicriterio espacial y medio ambiente urbano. Estudio de caso: Ciudad Camaguey, Cuba”, 2010.

RACE. “Informe: Transporte público en Europa”, Eurotest, Quality safety mobility, 2010.

Ramírez, J. C “Métodos Montecarlo”. Academia edu, 2013

Revista Consumer. “Transporte público, grandes diferencias entre las ciudades”. 2003.

Revista “El Ecologista”, 2010.

Revista Vía Libre, “Informe de tranvías y metros ligeros en España”. 2009.

Ridolfi, R. “Resource Book on PPP Case Studies”. European Commission Directorate-General Regional Policy, 2004.

Rizzi, L.I. “Análisis económico de los costos de accidentes viales. Apuntes de clase - curso Externalidades de Transporte”. Departamento de Ingeniería de Transporte y Logística. Pontificia Universidad Católica de Chile. 2008.

Roda, P. y VV.AA. “Impacto de la infraestructura de transporte en el desempeño económico”. Departamento Nacional de Planeación, Colombia, 2015.

Rodríguez-Aragón, L.J. “Simulación, Método de Montecarlo”. Área de Estadística e Investigación Operativa. Marzo 2011.

Rosen. S. “Journal of Political Economy”. 1974.

Ross, T.W. & Yan, J. "Efficiency vs. flexibility in Public-Private Partnerships". Mimeo, University of British Columbia, 2013.

Rozas, P. y Sánchez, R. "Desarrollo de infraestructura y crecimiento económico: revisión conceptual". CEPAL. N° 75. Santiago de Chile, 2004.

Salamanca Valderrama, A.M. "Instrumentos para solucionar los problemas de información asimétrica e información incompleta": El Caso del Sector de Acueducto y Alcantarillado". Bogotá, 2005.

Salling, K. B. y Leleur, S. "Accounting for the inaccuracies in demand forecasts and construction cost estimations in transport project evaluation". Transport Policy. V. 38, February, 2015.

Salvador, B. R. P., y Barrera, P. S. "Modelación matemática del comportamiento dinámico del metro de la Ciudad de México". Contactos, 90, 15-22. 2013.

Sanchez-Lopez, R. Capítulo: "El Análisis Multicriterio." Libro: Responsabilidad Social y Desarrollo: Análisis Multicriterio para la Evaluación de Proyectos, PRAEDAC, ed., Delegación de la Comisión Europea en Bolivia y Viceministerio de Desarrollo Alternativo del Gobierno de Bolivia, Cochabamba, 25-54. ISBN 84-8370-301-7. 2005.

Sánchez-Ollero, J.L. "Una aproximación al impacto socioeconómico de la alta velocidad ferroviaria en Andalucía". Boletín de la Asociación de Geógrafos Españoles N.º 64, págs. 341-356, 2014.

Sanz Mulas, A. "Servicios públicos: transporte y participación". Abril 2007.

Sastre González, J. "Nuevas concesiones de metro ligero: Participación pública y privada. Comparación de modelo de gestión y financiación". Madrid, 2009.

Segarra, A. "Análisis coste-beneficio del corredor mediterráneo y sus alternativas". Càtedra Universidad-Empresa para el Fomento de la Innovación Empresarial Universidad Rovira i Virgili, 2012.

Shannon, R. "The Science of Simulation Modeling". 1975.

Socorro, M.P "Diseño de contratos y mecanismos de financiación en la evaluación de proyectos de transporte". Junio 2009.

Souto Nieves, G. "Tasas de descuento para la evaluación de inversiones públicas: Estimaciones para España". Instituto de Estudios Fiscales 2001.

Souto Nieves, G. "Estimación de precios sombra a partir del análisis input-output: aplicación a la economía española". Instituto de Estudios Fiscales 2001.

Strenio, J.A. "La Economía del Transporte Público en Santiago de Chile". SIT Study Abroad, 2006.

Tartajo Garrido, J. A. "El ocaso de los tranvías españoles". IV Congreso de Historia Ferroviaria, 2006.

Tartajo Garrido, J. A. "Normativa y legislación de los tranvías". Revista Vía Libre, 2010.

Thomson, I. y Bull, A. "La congestión del tránsito urbano: causas y consecuencias económicas y sociales. Revista CEPAL nº 76, págs 109 a 121. Abril 2002.

Thomson, I. "Los metros sudamericanos: un análisis de su evaluación económica". Revista Eure, nº 23, 2014.

Tranvía de Zaragoza. www.tranviasdezaragoza.es.

Turró M. "La evaluación de proyectos de inversión en transporte por parte de las instituciones financieras internacionales: la experiencia del Banco Europeo de Inversiones", Universitat Politècnica de Catalunya, 2010.

Tyrvainen, L. and Miettinen, A. "Property prices and urban forest amenities, Journal of Environmental Economics and Management", 2000. Vol. 39, pp. 205-223.

Vasallo, J.M y Pérez de Villar, P. "Equidad y eficiencia del transporte público en la Comunidad de Madrid". Revista de Obras Públicas, 2008

Vergara Alert, C. y Robusté Antón, F. "Un modelo de autopistas con peajes como precios de servicios". CENIT, Centro de Innovación del Transporte. Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos de Barcelona. Universidad Politècnica de Catalunya, España. 2002

VVAA. "Sistemas de transporte urbano en ciudades pequeñas y medianas". Consorcio Regional de Transportes de Madrid. Seminario Internacional Transurban, Valdemoro, 2006.

VVAA. "Espacios urbanos-Espacios humanos...hacia una movilidad sostenible". Consorcio Regional de Transportes de Madrid. 2009.

VVAA. "El peaje urbano como instrumento de gestión de la movilidad y elemento potenciador del sistema de transporte urbano de la ciudad de Madrid". XXV Congreso anual de Aedem 8, 9 y 10 de junio de 2011.

VVAA. "Las CPP en el sector ferroviario". UPM, Colegio de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos, 2014.

Waingarten, L. y VV.AA "Monopolio Natural", Universidad de Palermo, 2011.

Wilhelmsson, M. "The Impact of Traffic Noise on the Values of Single-family Houses," Journal of Environmental Planning and Management, Taylor y Francis Journals, 2000. vol. 43(6), pages 799-815.

Zamorano Martín, C. “Financiación de sistemas ferroviarios urbanos y metropolitanos”. I.T. N°76, 2006.

Zamorano Martín, C; Bigas, Juan M.; Sastre González, J. “Tranvías, metros ligeros y sistemas en plataforma reservada: puntos clave para su proyecto e implantación”. 2008.